



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Departamento de Ingeniería y Tecnologías de Información

Facultad de Electrónica

Trabajo Práctico Recepcional

Sistema Automatizado de Producción de Biodiesel

A Partir de Aceite Vegetal Usado

Que Para Obtener el Título De:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentan:

Pedro Antonio Apanco Cruz

Abraham Roberto Rodríguez Cinta

10 de Diciembre de 2008



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Índice de Figuras	iii
Objetivos del proyecto	vi
Resumen	vii
Introducción	ix

Capítulo 1 Aspectos Generales de los Biocombustibles

1.1 Combustible	1
1.2 Combustibles Fósiles	3
1.3 Problemas Actuales Originados por el Uso de los Combustibles Fósiles	8
1.4 Biocombustibles	13
1.5 Panorama Benéfico de los Biocombustibles	14
1.6 Biodiesel	15
1.7 Antecedentes Históricos del Biodiesel	17
1.8 Elementos y Procesos Químicos Involucrados en la Producción de Biodiesel	18
1.9 Métodos de Producción de Biodiesel	24

Capítulo 2 Medición del pH

2.1 Introducción	30
2.2 Concepto de pH	31
2.3 Métodos de Medición del pH	31
2.4 Importancia de la Medición del pH en la Valoración del Aceite dentro del Proceso de Producción de Biodiesel	35

Capítulo 3 Elementos del Sistema de Control del Proceso

3.1 Introducción	36
3.2 Amplificadores Operacionales	38
3.3 Puente H	41
3.4 Regulador de tensión	43
3.5 Relevador	44
3.6 Microcontrolador	45
3.7 Actuadores	46
3.8 Bombas	53

Capítulo 4 Desarrollo del Proyecto

4.1 Introducción	55
4.2 Diagramas de Flujo	56
4.3 Proceso de Titración (Diseño y Construcción)	59
4.4 Acondicionamiento del Tanque Principal de Proceso	66
4.5 Acondicionamiento de la Señal Emitida por el Electrodo/Sensor de pH	74
4.6 Pruebas Experimentales	76
4.7 Pruebas de Calidad	78

Conclusiones y Trabajo a Futuro	87
Referencias Bibliográficas	88

Apéndice A Planos y Dibujos Técnicos del Prototipo Generados en Solidworks	91
Apéndice B Diagrama Esquemático del Circuito	99
Apéndice C Circuitos Impresos del Prototipo	100
Apéndice D Programa del Microcontrolador	104

Índice de Figuras

Figura 1.1 Como se forma los combustibles Fósiles	4
Figura 1.2 México: recursos y reservas de hidrocarburos al fin de 2007	9
Figura 1.3 El ciclo del Biodiesel	16
Figura 1.4 Propano	19
Figura 1.5 Alcanos	19
Figura 1.6 Alquenos	20
Figura 1.7 Alquinos	20
Figura 1.8 Metanol	20
Figura 1.9 Esterificación	21
Figura 1.10 Triglicérido	21
Figura 1.11 Glicerol	22
Figura 1.12 Diagrama de Flujo para la obtención de Biodiesel	24
Figura 1.13 Cultivos para la producción de Biodiesel	25
Figura 2.1 Escala del pH	31
Figura 2.2 Indicadores de pH	32
Figura 2.3 Papel Indicador	33
Figura 2.4 Medidor de pH	34
Figura 3.1 Sistema Automatizado	37
Figura 3.2 Amplificador Inversor	39
Figura 3.3 Amplificador No inversor	40
Figura 3.4 Amplificador diferencial	40
Figura 3.5 Amplificador sumador	41
Figura 3.6 Estructura de un puente H	41
Figura 3.7 Estados basicos del puente H	42
Figura 3.8 Símbolo IEC de un Regulador de tensión	43
Figura 3.9 Diagrama interno de un Relé	44

Figura 3.10 Motores a pasos	49
Figura 4.1 Diagrama de Flujo General	56
Figura 4.2 Diagrama de flujo de la Valoración del Aceite Vegetal y Determinación de la cantidad necesario para el proceso	57
Figura 4.3 Diagrama de Formación del Metóxido de Sodio e Incorporación de Aceite Vegetal Usado	58
Figura 4. 4 Diagrama de flujo de la reacción de Transesterificación	58
Figura 4.5 Diagrama de Flujo del filtrado del Biodiesel	59
Figura 4.6 Esquema de la Titulación	61
Figura 4.7 Posición de los Actuadores	62
Figura 4.8 Tanque Principal	67
Figura 4.9 Instalación de Tubería	67
Figura 4.10 Aspa Mezcladora	68
Figura 4.11 Motor	69
Figura 4.12 Centro de Carga	69
Figura 4.13 Unión eje motor y aspa	70
Figura 4.14 Anillo de Retención del aspa	70
Figura 4.15 Soporte del motor	70
Figura 4.16 Actuador electrico	71
Figura 4.17 Integrado L298n	71
Figura 4.18 Contenedor de Sosa caustica	72
Figura 4.19 Bomba Periférica	73
Figura 4.20 Interruptor para activar Bomba	73
Figura 4.21 Filtro de 5 micrones	74
Figura 4.22 Mesa de trabajo	74
Figura 4.23 Circuito acondicionador de la señal del electrodo de pH	75
Figura 4.24 Biodiesel Obtenido	78
Figura 4.25 Glicerina Obtenida	78
Figura 4.26 Aparato para realizar la destilación del petróleo y curva generada.	81
Figura 4.27 Análisis muestra aceite sin procesar	82
Figura 4.28 Análisis muestra producto final	83

Figura 4.29 Curva de Punto de Ebullición muestra aceite sin procesar -----	84
Figura 4.30 Curva de Punto de Ebullición muestra producto final -----	84
Figura 4.31 Curva de Punto de Ebullición muestra Diesel convencional-----	85

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

Un sistema automatizado capaz de producir el combustible de origen natural denominado "Biodiesel" teniendo como materia prima el aceite vegetal usado ,automatizando métodos experimentales probados con anterioridad

Objetivos Particulares

Crear una fuente de información confiable acerca de Biodiesel en el cual se puedan apoyar proyectos o investigaciones

Innovar en el desarrollo de un sistema totalmente automatizado capaz de realizar el proceso denominado Titulación utilizado para la valoración del aceite vegetal usado.

Iniciar una línea de investigación dentro de la rama de la Ingeniería Mecatrónica que tenga como objetivo: La total automatización del proceso y la mejora constante de la calidad del producto final.

Resumen

En el primer capítulo se desarrolla un marco teórico que familiarice al lector con los conceptos básicos del uso de los combustibles, su diferentes tipos, su importancia en el desarrollo de la sociedad tal como la conocemos, así como los problemas que ha traído su uso indiscriminado, para posteriormente presentar una nueva alternativa en los Biocombustibles y específicamente el Biodiesel del cual se expone algunos de los métodos más importantes de producción, las ventajas que traería consigo el uso masivo de este así como las posibles desventajas que habría que superar.

En el segundo capítulo se explica el concepto de pH, orientado a que el lector comprenda la importancia de una correcta medición del pH en la valoración del aceite como punto vital del éxito o fracaso del proceso de producción.

En el tercer capítulo se explican cada uno de los elementos presentes en el sistema que controlara el proceso de producción, principalmente el Microcontrolador, así como aquellos presentes en el acondicionamiento de señales; y por últimos todos los actuadores involucrados.

El capítulo cuarto explica de manera detallada cada parte del proceso de producción pero destacando los aportes de la Ingeniería Mecatrónica en cada una de sus etapas: diseño, construcción y puesta en marcha.

De igual forma las pruebas experimentales realizadas con el sistema son descritas en este capítulo así como las pruebas de calidad realizadas al producto final.

Por último se dan a conocer las conclusiones obtenidas en el desarrollo del proyecto y las posibles mejoras en las que se debería trabajar en un futuro.

Introducción

La necesidad de energía para la manufactura de productos y el correcto funcionamiento de los servicios, que nos brindan: comodidad, transporte, desarrollo industrial y tecnológico; nos llevan, a la búsqueda y desarrollo de nuevas alternativas sustentables de generación.

El constante aumento en los precios de los combustibles más importantes, su estrecha relación con la sobreexplotación de recursos no renovables, tal como lo es el petróleo, así como el terrible escenario ambiental de incesante contaminación, son algunos de los principales problemas que justifican a este proyecto.

Cabe resaltar que el desarrollo en la investigación acerca de los Biocombustibles, o por lo menos es su gran mayoría, está orientado a que nuestras plataformas tecnológicas no tengan modificaciones mayores.

El biodiesel se encuentra dentro del grupo de los biocombustibles y su obtención se logra mediante el procesamiento del aceite vegetal ya sea nuevo o utilizado con anterioridad.

La obtención de Biodiesel puede realizarse sin conocimientos especiales de Química, sin embargo dentro de este trabajo, de manera general, los principales procesos involucrados, son explicados a fin de llevarlos a cabo en forma correcta.

Capítulo 1

Aspectos Generales De Los Biocombustibles

¡Cambia tu combustible, cambia tu mundo!
Joshua Tickell

1.1 Combustibles

Definición de Combustible

Se considera combustible a cualquier material capaz de liberar energía cuando se cambia o transforma su composición química. Supone la transformación de la energía de una forma potencial a una forma utilizable capaz de generar beneficios.

Un combustible en general se trata de una sustancia susceptible de quemarse, pero existen excepciones, por lo tanto se debe poder combinar con el oxígeno de manera rápida.

Las reacciones químicas de la combustión suponen la combinación del oxígeno con el carbono, hidrógeno o azufre presentes en los combustibles. Durante el transcurso de la reacción química, se va a desprender una gran cantidad de calor además de otros productos finales tales como el dióxido de carbono, agua y dióxido de azufre. Las demás sustancias presentes en los combustibles no contribuyen a la combustión, pero salen en forma de vapor o permanecen después de esta en forma de ceniza.

Clasificación de los Combustibles

Los combustibles se pueden clasificar de acuerdo a su origen, al grado de preparación, estado de agregación; aunque algunos combustibles pueden pertenecer a más de una de estas clasificaciones.

Origen de los Combustibles

Fósiles: Los Combustibles fósiles son sustancia formadas a partir de plantas y microorganismos enterrados durante millones de años. Un combustible fósil aparece como resultado de la descomposición de seres vivos

No fósiles: Estos combustibles, también considerados como renovables, son aquellos que se obtienen de fuentes diferentes a las de los combustibles fósiles como por ejemplo la energía solar, la energía eólica, la energía hidráulica y algunas otras formas como el metanol, el etanol y el biodiesel.

Grado de Preparación

Naturales: Los combustibles naturales son utilizados tal y como aparecen en la naturaleza.

Elaborados: Se consideran combustibles elaborados a aquellos que antes de ser consumidos se someten a determinados procesos de transformación

Estado de Agregación

Sólidos: Como su nombre lo expresa, son combustibles que se encuentran en este estado, en la naturaleza o una vez transformados, y que al ser quemados originan cenizas. Son ejemplos de estos combustibles: el carbón y la madera.

Líquidos: Se trata de cualquier líquido que pueda ser usado como combustible y que pueda ser vertido y bombeado, como el gasóleo, el queroseno o la gasolina.

Gaseosos: Este tipo de combustibles se encuentran en estado gaseoso en la naturaleza o una vez que han sido procesados. Los combustibles gaseosos empleados en la actualidad son el gas de hulla, obtenido por destilación del carbón, los gases de productor y de alto horno, resultado de la interacción entre el vapor de agua, aire y carbón, el gas natural, extraído de yacimientos subterráneos de gas, y los gases embotellados, compuestos por los hidrocarburos más ligeros.

Usos de los combustibles

Existe una amplia cantidad de aplicaciones para los combustibles, en general son utilizados para producir vapor con la finalidad de conseguir calor y energía utilizable, para proporcionar energía a los motores de combustión interna, como fuente directa de energía en aviones, aeroplanos, trenes, barcos y cohetes a propulsión.

Además de la combustión directa con fines comerciales, los combustibles son quemados para generar la mayor parte de la energía eléctrica del mundo. Las plantas alimentadas con carbón producen el 37% de la energía eléctrica mundial, mientras el petróleo y el gas natural generan entre los dos el 25%.

1.2 Combustibles Fósiles

Los combustibles fósiles son mezclas de compuestos orgánicos presentes en depósitos geológicos los cuales se extraen del subsuelo.

Los yacimientos de combustibles fósiles que existen en la actualidad se formaron a partir de antiguos organismos que murieron y fueron enterrados bajo capas de sedimentos, este material estuvo sujeto a temperaturas y presiones crecientes durante millones de años, esas condiciones físicas transformaron químicamente el material orgánico en hidrocarburos¹.

¹Hidrocarburo: Cualquier compuesto o mezcla de compuestos, sólido, líquido o gas que contiene carbono e hidrógeno (p. ej.: carbón, aceite crudo y gas natural).

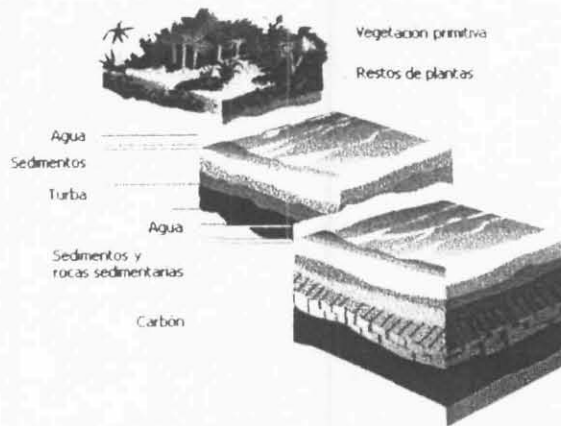


Figura 1.1 Como se forma los combustibles Fósiles

http://es.encarta.msn.com/media_461547681_961543773_1_1/C%C3%B3mo_se_forma_el_carb%C3%B3n.html

Los Principales Combustibles Fósiles

El Petróleo

El instituto Mexicano del Petróleo lo define como:

Nombre genérico para hidrocarburos, incluyendo petróleo crudo, gas natural y líquidos del gas natural. El nombre se deriva del latín, óleum, presente en forma natural en rocas, petra.

El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrógeno y pequeñas proporciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, almacenados de forma natural en depósitos de roca sedimentaria.

El petróleo no se encuentra distribuido de manera uniforme en el subsuelo deben existir al menos cuatro condiciones básicas para que éste se acumule:

- Debe existir una roca permeable de forma tal que bajo presión el petróleo pueda moverse a través de los poros microscópicos de la roca.
- La presencia de una roca impermeable, que evite la fuga del aceite y gas hacia la superficie.
- El yacimiento debe comportarse como una trampa, ya que las rocas impermeables deben encontrarse dispuestas de tal forma que no existan movimientos laterales de fuga de hidrocarburos.
- Debe existir material orgánico suficiente y necesario para convertirse en petróleo por el efecto de la presión y temperatura que predomine en el yacimiento.

El petróleo se extrae mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Si la presión de los fluidos es suficiente, forzará la salida natural del petróleo a través del pozo, de no ser así será necesaria la extracción mediante bombas, la inyección de agua o la inyección de gas, entre otras.

La medida técnica y financiera del petróleo es el barril que corresponde a 159 litros.

Combustibles Derivados del Petróleo

El petróleo crudo es sometido a *refinación* que permite obtener diferentes tipos de productos, siendo los siguientes los más comunes

Gasolina

Es una mezcla de los hidrocarburos líquidos derivados del petróleo.

La gasolina se obtiene del petróleo en una refinería. En general se obtiene a partir de destilación directa, pues es la fracción más ligera del petróleo (exceptuando los gases).

Diesel

Es un líquido de color blancuzco o verdoso, es una mezcla compleja de hidrocarburos compuesta principalmente de parafinas y aromáticos, se obtiene de la fracción destilada del petróleo denominada gasóleo.

El combustible diesel es pesado y aceitoso, de hecho, a veces se le denomina aceite diesel. Se evapora lentamente y su punto de ebullición es más alto.

El diesel tiene aproximadamente un 18% más de energía por unidad de volumen que la gasolina.

En una refinería, el diesel pasa directamente a los depósitos de almacenamiento, aunque en algunos casos es necesario eliminarle el azufre;

Combustóleo

El combustóleo es un líquido negro brillante, por ser muy pesado tiene un poder calorífico muy grande, de la misma intensidad que tiene el carbón.

El combustóleo es un producto viscoso y con ciertos grados de impureza cuyas características generales exigen métodos especializados para su empleo.

El Carbón

El carbón mineral es un combustible compuesto fundamentalmente de carbono y pequeñas cantidades de hidrógeno, azufre y cenizas, en estado sólido, de color oscuro o casi negro que tiene su origen en vegetales fosilizados.

Características de los Yacimientos de Carbón Explotables

Las dos características de estructura geológica que determinan si un yacimiento de carbón es o no económicamente explotable son:

- El Espesor de las capas carboníferas
- La Profundidad a la que se encuentran en el subsuelo

Gas Natural

Es un energético de origen fósil, que se encuentra normalmente en el subsuelo continental o marino.

El gas natural se acumula en bolsas entre la porosidad de las rocas subterráneas. Pero en ocasiones, el gas natural se queda atrapado debajo de la tierra por rocas sólidas que evitan que el gas fluya, formándose lo que se conoce como un yacimiento

El gas natural está compuesto aproximadamente en un 95% de metano (CH_4), que es la molécula más simple de los hidrocarburos. Además puede contener pequeñas cantidades de etano, propano y otros hidrocarburos más pesados, también se pueden encontrar en pequeñas cantidades nitrógeno, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y agua.

Los Combustibles Fósiles y su Impacto en el Desarrollo.

Los combustibles fósiles han sido grandes protagonistas del impulso industrial.

A mediados del siglo XVIII, ante la escasez de recursos, causada por el abuso y agotamiento de la madera como combustible y para la construcción, la gente empezó a utilizar los depósitos superficiales de carbón mineral como sustituto; de lo que condujo a la invención de la máquina de vapor. Con la revolución industrial surge la dependencia de los combustibles fósiles como fuentes de energía para realizar las actividades del hombre.

Con el uso de los combustibles fósiles y la invención de nuevas máquinas se cambió la forma de producción de bienes y servicios, se pasó de la producción manual a las líneas de producción. El uso del carbón como fuente de energía propició que las plantas manufactureras se pudieran establecer en las ciudades.

En el siglo XX los motores de combustión interna a Gasolina y Diesel, aumentaron enormemente el rendimiento de los transportes, y dieron pie al desarrollo de la industria

agrícola y manufacturera creando fenómenos de migración a las grandes urbes dando lugar a sociedades con las siguientes características:

- ❖ La dependencia al petróleo, el gas natural y el carbón, además de diversos metales.
- ❖ Una enorme demanda de materiales sintéticos, que se degradan lentamente en el ambiente, y muchos de los cuales son tóxicos para la vida silvestre y para los humanos.
- ❖ Un incremento excesivo en el consumo de energía por persona para transportación, manufactura, agricultura, alumbrado, calefacción y acondicionamiento ambiental, donde cabe resaltar que los combustibles fósiles constituyen gran parte de la materia prima para su generación.

1.3 Problemas Actuales originados por el uso de los combustibles fósiles

Problema No. 1

Disminución de las Reservas Petroleras y Extracción cada vez más Complicada

A pesar de que todavía existe sin explotar una gran cantidad del petróleo presente en nuestro planeta, es cada día un poco más difícil y costoso extraerlo. Y sólo bajo condiciones ecológicas y geológicas muy específicas y de largo plazo se puede crear más petróleo o combustible fósil.

El problema radica en que la demanda anual de petróleo es mayor que el volumen de las nuevas reservas halladas en ese mismo periodo ;consumimos un promedio de 81 millones de barriles en un día, proyectando este dato para 2025 la demanda será de 121 millones, lo que origina que la producción de los principales yacimientos se reduzca hasta en un 5% anualmente.

México tiene una capacidad productora de petróleo de 60 años como se muestra en el siguiente grafico:

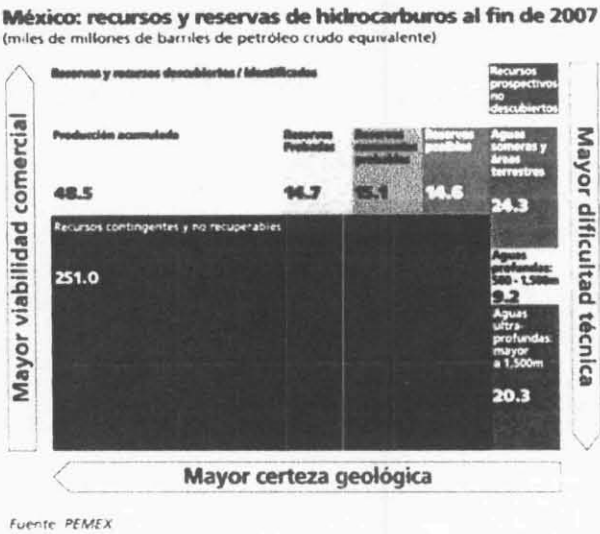


Figura 1.2 México: recursos y reservas de hidrocarburos al fin de 2007

Datos obtenidos de PEMEX

Tabla 1.1 Reservas petroleras de México

	MMBPCE	AÑOS
R. Probadas	14.7	9.0
R. Probables	15.1	9.8
R. Posibles	14.6	9.0
Tierra y Agua somera	24.3	15.2
Agua profunda	29.5	18.4

Sin embargo, debido a que el petróleo que va quedando es cada vez más difícil de extraer, será imposible mantener tal nivel de producción y, al producir menos, en teoría, se extiende la vida de los yacimientos. Pero por más se invierta en exploración, las reservas de petróleo no van crecer lo suficiente para siquiera incrementarse en un 50%.

Como en todo tema que genere puntos de vista diversos; existe un grupo un poco más optimista para el cual el petróleo tiene asegurado el abasto hasta por un siglo, pero es importante mencionar que este petróleo es aquel que se encuentra en arenas asfálticas, tan pesado como el chapopote, o el que se localiza a grandes profundidades dentro del mar., cuya extracción requiere de usar grandes cantidades de energía.

Los avances tecnológicos pueden ayudar a aumentar la energía neta y extender un poco el pico de producción pero no a crear más petróleo.

Problema No. 2

Economía Mundial y Dependencia Fósil

El petróleo ha transformado la vida de las personas y la economía de sus naciones.

La vida sin el petróleo no podría ser como se conoce. De este se obtienen los combustibles para automotores, genera la electricidad que utilizan fábricas, hospitales y oficinas².

La industria petroquímica usa productos derivados de él para hacer plásticos, fibras sintéticas, detergentes, medicinas, conservadores de alimentos, hules y agroquímicos.

La economía internacional es sumamente dependiente del precio vigente del petróleo, cualquier incremento significa un gran problema. Si el aumento en el precio continua , bajo las condiciones de demanda y producción actuales , desencadenaran un aumento en el costo de todos los insumos, no habrá transportes ni distribución, severa depresión económica , un masivo desempleo, inestabilidad política y conflictos internacionales serian seguramente consecuencias que se verían de inmediato.

² <http://www.imp.mx/petroleo/>

Los países “de primer mundo” están buscando asegurar sus reservas sin importarles las consecuencias que pueda tener, invasiones armadas por ejemplo, las cuales causan a su vez de la fractura total de la economía de pueblos incapaces de defenderse.

Problema No.3

Problemática Ambiental

Una preocupación que se une a los escenarios anteriores es que el planeta está experimentando un periodo de calentamiento, el promedio de temperatura mundial está aumentando.

Evidencias científicas muestran que se está incrementando el dióxido de carbono atmosférico, y de ese modo contribuyendo al calentamiento global, cada vez que se queman combustibles.

El ciclo del Carbono³

Carbono e hidrógeno son los elementos básicos en la naturaleza, la mayoría de los elementos presentes en nuestra vida diaria están constituidos de estos dos elementos. En ocasiones estos elementos se encuentran primordialmente en la atmósfera, algunas veces en la corteza terrestre o en los océanos, y en ocasiones estos se encuentran contenidos en las plantas y animales. No obstante su continuo movimiento, la cantidad de los elementos en la tierra nunca varía.

Actualmente, con la demanda de estos hidrocarburos genera la liberación del carbono acumulado durante millones de años, existen alrededor de 1 billón de

³ From the Fryer to the Fuel Tank
Joshua Tickell Page 16 The earth is getting Warmer

motores de combustión interna en operación en el planeta los cuales durante el proceso de combustión mezclan el carbono contenido en los diferentes combustibles (Gasolina, diesel, etc.) con oxígeno, dando lugar a una inimaginable cantidad de dióxido de carbono que es arrojado a la atmósfera.

El efecto invernadero

El efecto invernadero se refiere a la capacidad que tienen los gases presentes en la atmósfera para mantener una temperatura templada en el planeta. Datos recientes muestran que se ha maximizado este efecto natural, arrojando a la atmósfera billones de toneladas de emisiones contaminantes principalmente dióxido de carbono

El efecto invernadero es un proceso natural el cual siempre ha existido, los rayos solares que llegan a la tierra atraviesan la atmósfera y entran en contacto con la superficie, la mayoría de estos son reflejados y salen del planeta, la función de los gases de efecto invernadero es retener algunos de estos rayos dentro de nuestra atmósfera con el objetivo de mantener una temperatura promedio de 15 °C. El problema se origina cuando existe una cantidad descontrolada de estos gases lo que ocasiona un aumento acelerado del promedio de la temperatura provocando mayor evaporación en los océanos, el descongelamiento de los polos, desequilibrio en las corrientes oceánicas, huracanes y tifones , en tierra provoca sequías, gracias a la evaporación del agua y a la tala inmoderada de árboles que erosiona los suelos y deja sin forma de convertir todo el CO₂ en oxígeno.

Algunos datos sobre las consecuencias de la quema de combustibles fósiles:

- ❖ Por cada 3.8 litros de gasolina que un auto consume, aproximadamente 10 Kilogramos de dióxido de carbono son arrojados a la atmósfera

- ❖ Los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera son los más altos que ha habido en los últimos 160,000 años. Además estos niveles se incrementan cada año mientras que la cantidad de oxígeno libre disminuye
- ❖ Los años más calientes en los registros históricos han ocurrido en las dos últimas décadas.

1.4 Biocombustibles

Un biocombustible es el término utilizado para denominar a cualquier combustible que derive de la biomasa. La biomasa es la energía solar convertida por la fotosíntesis directa (plantas) o indirectamente (digestión de los animales) en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en diferentes combustibles.

Para utilizar la biomasa con fines energéticos en sistemas convencionales es necesario adecuar la materia prima.

Según la naturaleza de la biomasa y el tipo de combustible deseado, se pueden utilizar procesos mecánicos (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), biotecnológicos (micro bacterianos o enzimáticos) y extractivos, para obtener combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Tabla 1.2 Tipos de combustibles obtenidos de los diferentes estados de la biomasa

SOLIDOS	LIQUIDOS	GASEOSOS
• Paja • Leña sin procesar • Astillas • Briquetas • Triturados finos • Carbón vegetal	• Alcoholes • Biohidrocarburos • Aceites vegetales • Esteres • Aceites de pirólisis	• Gas de Gasógeno • Biogás • Hidrógeno

1.5 Panorama Benéfico de los Biocombustibles

La producción de Biocombustibles traerá consigo:

La creación de nuevos puestos de trabajo, el incremento de la actividad económica, la reducción de la dependencia del petróleo, proveer al desarrollo de energías alternativas.

Los Biocombustibles **emiten Dióxido de Carbono**, pero en menor cantidad; los combustibles de biomasa tienen un contenido nulo o insignificante de azufre, por lo tanto no contribuyen a las emisiones de dióxido de azufre que son las causantes de la lluvia ácida. La combustión de la biomasa produce menos ceniza en comparación de los combustibles fósiles sólidos y esta ceniza puede ser usada reciclada en granjas como complementos.

La producción de Biocombustibles puede originar nuevos productos y un crecimiento potencial de Negocios.

Los biocombustibles producidos a partir de biomasa pueden ser utilizados en la tecnología convencional existente hoy en día sin modificaciones considerables.

Es de vital importancia manifestar que la problemática ambiental no será eliminada con el uso de los biocombustibles, estos sin lugar a dudas disminuyen las emisiones tóxicas arrojadas a la atmósfera ayudando de manera considerable al bienestar ecológico, no obstante no es una energía totalmente limpia, como lo es la producida por acción del viento, la de motores eléctricos, la energía del hidrógeno o incluso la energía nuclear controlada eficazmente. Sin embargo el desarrollo de los biocombustibles o en su gran mayoría está destinado a lograr que las plataformas tecnológicas actuales o éstas con mínimas modificaciones sigan siendo aprovechadas.

1.6 Biodiesel

Joshua Tickell fundador de Biodiesel América lo define como:

"Un combustible obtenido del aceite vegetal que puede ser usado en cualquier motor Diesel sin que este tenga que modificarse, El cual puede obtenerse tanto de aceites vírgenes de semillas como la soya, girasol, canola, cáñamo o palma de coco; o reciclando el aceite comestible usado. Incluso grasas animales como el sebo pueden utilizarse "

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define a este biocombustible como:

"Ester mono alquílico⁴".

Que se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como también de grasas animales, a través de un proceso denominado **Transesterificación** (término que es explicado más adelante en este mismo capítulo)

Ventajas del uso Biodiesel

Jouney Forever⁵ una organización dedicada a la investigación y promoción del uso de Biodiesel da a conocer las siguientes ventajas originadas por el uso de este Diesel Ecológico

- ❖ La utilización del biodiesel puede ser hasta 75% más limpia que el diesel convencional

⁴ Los Esteres son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico (simbolizado por R' en este artículo) reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado.

Monoalquílico: Los **alcanos** son hidrocarburos, es decir que tienen sólo átomos de carbono e hidrógeno.

⁵ <http://journeytoforever.org/es/biocombustibles.html>

- ❖ De acuerdo con datos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos el uso de biodiesel reduce las emisiones de el dióxido de carbono ,partículas sólidas y gases de escape, en un 93%, 50%,y 30 % respectivamente en comparación al Diesel Convencional
- ❖ Las emisiones de dióxido de azufre se eliminan (El azufre presente en el es casi inexistente).
- ❖ El biodiesel al ser de origen vegetal, no propicia la extracción de carbono presente en el subsuelo; por lo cual su ciclo de carbono es más eficiente



Figura 1.3 El ciclo del Biodiesel

<http://blogs.diariosur.es/piso/category/medio-ambiente/5>

- ❖ La formación de smog por emisiones del biodiesel es casi un 50% menos que la generada por el diesel común
- ❖ Las emisiones de óxido de nitrógeno pueden variar, pero siempre por debajo de las de diesel común
- ❖ El biodiesel es: biodegradable ,y menos tóxicos que la sal de mesa
- ❖ El biodiesel es mucho más lubricante que diesel convencional 1% de biodiesel añadido a diesel común aumentará la lubricidad de un 65%.
- ❖ El biodiesel puede mezclarse con diesel en cualquier proporción, sin necesidad de una mezcla de aditivos.
- ❖ El biodiesel de alta calidad tiene un mayor número de cetano que el diesel debido a su contenido de oxígeno. Cuanto mayor sea el número de cetano, más eficiente es el combustible
- ❖ El biodiesel puede utilizarse en cualquier motor diesel sin modificaciones.

Desventajas del Uso del Biodiesel.

El biodiesel también presenta algunas desventajas en el vehículo que lo utiliza, entre las que destacan:

- ❖ A bajas temperaturas puede llegar a solidificarse y producir obstrucciones en los conductos. (Al igual que el Diesel convencional) estas dificultades se ajustan utilizando aditivos y anticongelantes
- ❖ Puede existir una ligera pérdida de potencia y un leve incremento del consumo debido a un poder calorífico menor, aunque el rendimiento de la combustión es superior.
- ❖ Incompatibilidad con materiales, puesto que los esteres son más agresivos que el diesel convencional, pueden atacar al caucho y a algunos tipos de pintura. Por lo cual es conveniente utilizar pinturas acrílicas y sustituir las conducciones de caucho por teflón o caucho fluorado.
- ❖ Presenta una estabilidad menor en almacenamientos prolongados y tienen mayor facilidad para descomponerse.

1.7 Antecedentes Históricos del Biodiesel

Desde los inicios del siglo pasado se demostró la posibilidad de que los motores a Diesel podían funcionar de manera eficiente utilizando un combustible de origen vegetal ;prueba de esto es la Exposición Mundial de Paris llevada a cabo en 1900, donde Rudolf Diesel uso como combustible para su motor "aceite de cacahuete"

Posteriormente con el uso difundido de combustibles fósiles esta rama de investigación quedo rezaga hasta la década los 70's cuando gracias al incremento en el precio del petróleo, se reinicio la búsqueda de nuevas alternativas.

Algunos de los trabajos precursores fueron los realizados en el Instituto Austriaco Federal de Ingeniería para la Agricultura en el año de 1973, en los cuales Manfred Wörgetter utilizó como combustible alternativo para los tractores “aceite de linaza”.

En los Estados Unidos de América trabajos muy similares a este fueron desarrollados en Idaho por el Dr. Charles Peterson Ingeniero en Agricultura quien descubrió usando aceite de cártamo, que entre menor fuera la viscosidad del aceite, sería más eficiente como combustible.

En esa misma década se acuñó el término Biodiesel cuando fue probado un método químico capaz de disminuir lo suficiente la viscosidad del aceite, como para ser utilizado en cualquier motor diesel. A este proceso químico se le denominó **Transesterificación**

1.8 Elementos y Procesos Químicos Involucrados en la Producción de Biodiesel

A continuación se expone la reacción química fundamental en la producción de Biodiesel.

En general la química orgánica, es decir, aquella basada en el carbono es la que toma parte en la reacción conocida como Transesterificación, ahora bien antes de explicarla, se dan a conocer brevemente a los agentes involucrados.

Esencialmente son tres los elementos químicos los que participan en la química del Biodiesel: Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O), los dos primeros al unirse forman cadenas de hidrocarburos.

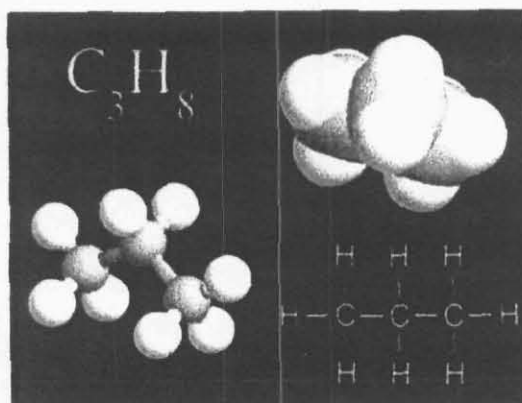


Figura 1.4 Propano

<http://blogs.diariosur.es/piso/category/medio-ambiente/5>

Alcanos

Son exclusivamente átomos de carbono e hidrógeno que pueden formar cadenas extremadamente largas siendo la relación entre C/H igual a C_nH_{2n+2} siendo n el número de átomos de carbono de la molécula (esta relación sólo se cumple en alcanos lineales).

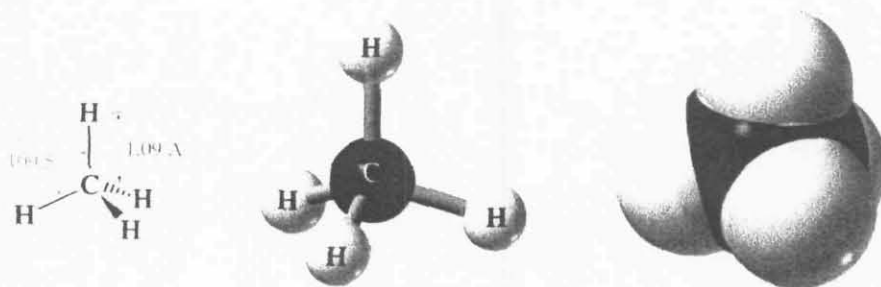


Figura 1.5 Alcanos

[http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Representaciones del metano.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Representaciones_del_metano.JPG)

El diesel común consiste en una mezcla de diferentes cadenas de alcanos con pequeñas cantidades de otros elementos, para los cuales el promedio de longitud es de 20 Carbonos.

Hasta ahora las cadenas están unidas por un solo enlace , pero existe la posibilidad de que los carbonos estén unidos por un doble enlace , cuando esto ocurre se forman **Alquenos** y **Alquinos** cuando el Carbono tiene un triple enlace

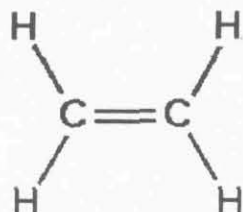


Figura 1.6 Alquenos

<http://www.textoscientificos.com>



Figura 1.7 Alquinos

<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Acetylene.png>

Aquellos componentes que se unen por un solo enlace se conocen como saturados , y son más estables que los que contienen más de uno que pueden romperse para formar un nuevo enlace.

Estas son los principales hidrocarburos involucrados en la producción de biodiesel,

Grupos Funcionales

Un grupo funcional es un átomo o varios de ellos presentes en un componente orgánico (un hidrocarburo por ejemplo) brindándole ciertas cualidades específicas. Uno de los más simples grupos funcionales pero relacionados en el proyecto es el Grupo Hidroxilo (OH) , que cuando se une a los hidrocarburos forma **Alcoholes**.

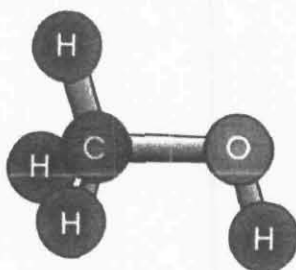


Figura 1.8 Metanol

http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Methanol_struktur.png

El segundo grupo funcional importante es el Grupo Carbonilo (COOH) que tiene un doble enlace entre el carbono y el oxígeno, el cual genera dos importantes series.

1.- Ácidos Grasos: Los cuales terminan con la unión simple de un oxígeno con un hidrógeno, en los aceites vegetales usados existen ácidos grasos.

2.- Esteres: Estos por su parte tienen unido a una cadena de hidrocarburos, por un enlace simple, al oxígeno.

Los esterres pueden ser formados a partir de ácidos grasos y alcoholes por medio de la Esterificación; el catalizador para lograr la reacción es usualmente un ácido concentrado.

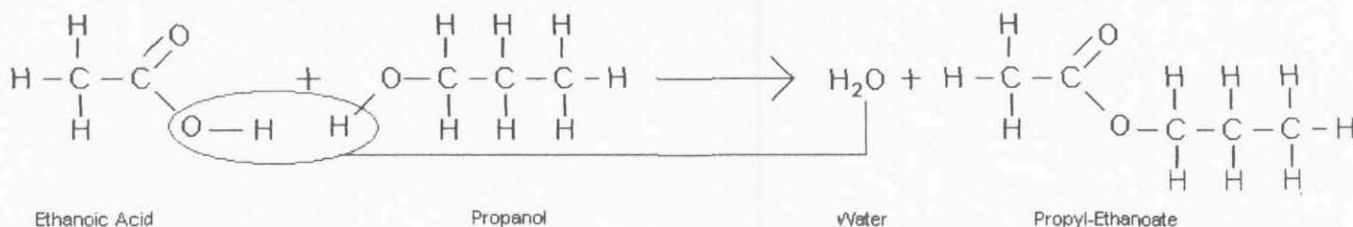


Figura 1.9 Esterificación

<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Esterification.PNG>

Tanto el aceite vegetal como el biodiesel son principalmente esterres, el segundo es conocido como un Ester Metilo

Para continuar y teniendo como base la información previamente mencionada se muestra una molécula de aceite vegetal.



Figura 1.10 Triglicérido

<http://www3.me.iastate.edu/biodiesel/Pages/biodiesel2.html>

R1, R2 y R3 representan cadenas de hidrocarburos grasos

Lo primero que salta a la vista es el grupo funcional, el carbonilo, y además podemos ver que se trata de un Ester, de hecho se trata de un triester, el tamaño de la molécula es la que da su viscosidad al aceite, y la viscosidad es el principal problema de un combustible que se quiera utilizar en un motor de combustión interna

Los esteres son en esencia un alcohol unido a un ácido graso, en esta molécula tenemos el alcohol llamado glicerol unidos a tres ácidos grasos

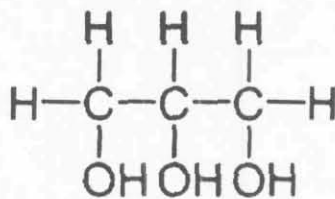


Figura 1.11 Glicerol

http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glycerin_-_Glycerol.svg

Se observa que el glicerol mantiene unidos los ácidos grasos lo que origina el gran tamaño de la molécula, y en consecuencia le suma viscosidad, el objetivo será reemplazar la molécula de gran tamaño por una más pequeña.

Transesterificación

La reacción para obtener Biodiesel a partir de aceite vegetal se conoce Transesterificación, convertir un Ester de glicerol en un Ester metílico,

Esto se logra agregando a los aceites vegetales, cantidades controladas de Metanol, que es un alcohol que se puede obtener del carbón, el gas natural o en destilación de la madera, el uso de etanol en esta reacción tiene el mismo efecto, pero el metanol produce una reacción más estable aunque es el principal corrosivo para las gomas del motor.

El uso de un catalizador es esencial para la reacción, el cual generalmente es hidróxido de sodio comúnmente conocido como sosa cáustica, su función es romper los enlaces en los triglicéridos (aceite vegetal) y liberar los esteres. Cuando los esteres estén libres se combinarán con el metanol, y el catalizador se combinará con el glicerol para irse al fondo del contenedor donde se lleve a cabo la reacción, los productos finales de la Transesterificación serán Esteres alcalinos (biodiesel) y glicerina.

Un factor a considerar en la producción de Biodiesel es la presencia de ácidos grasos libres, presentes generalmente en el aceite usado, el cual al ser calentado constantemente rompe los enlaces de los ácidos grasos y quedan flotando "libres", estos deben ser eliminados, esto se logra utilizando mas catalizador en la reacción, con el objetivo de neutralizarlos.

1.9 Métodos de Producción de Biodiesel

En general el proceso de producción del Biodiesel puede entenderse con el siguiente diagrama de Flujo

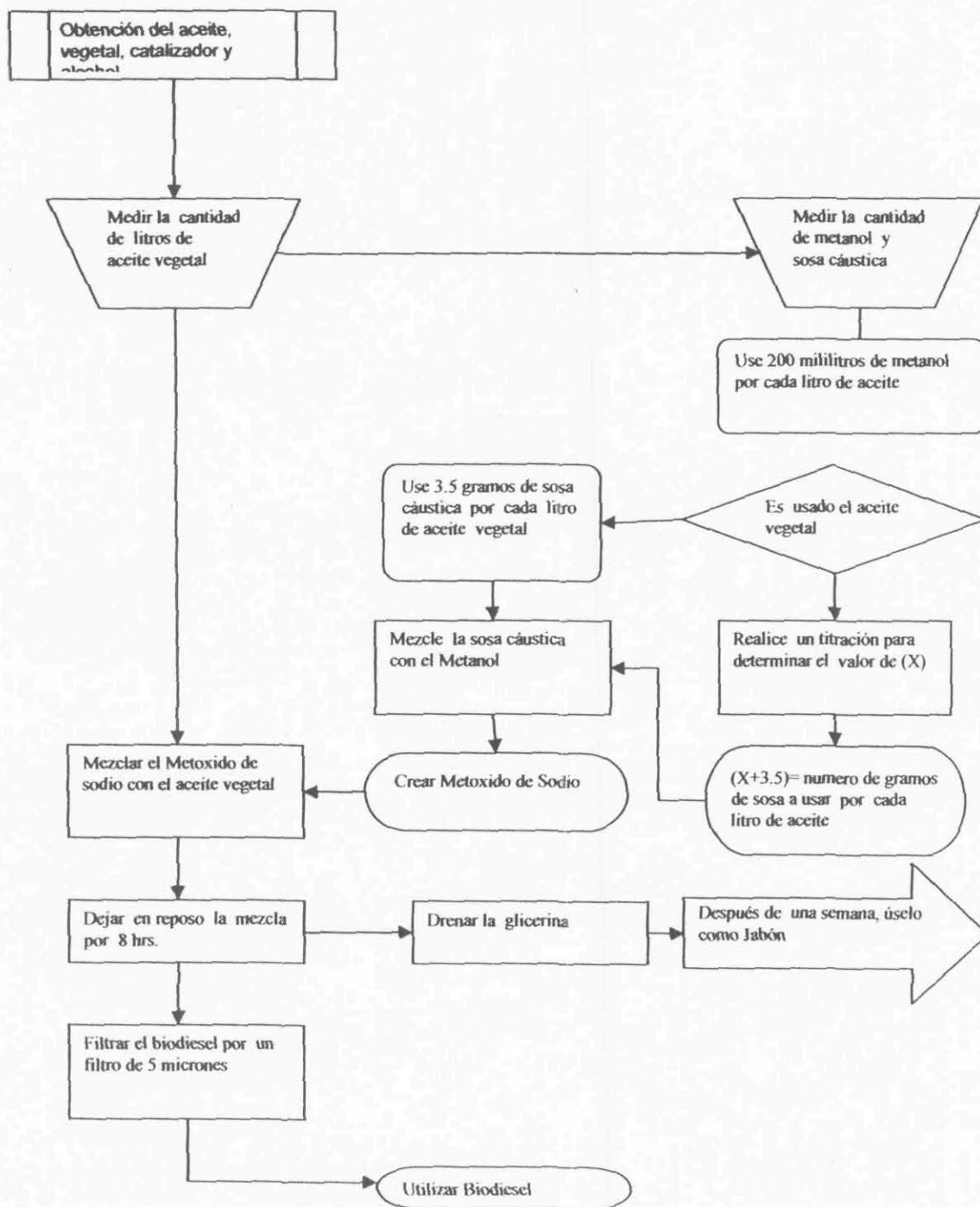


Figura 1.12 Diagrama de Flujo para la obtención de Biodiesel

From the Fryer to the Fuel Tank Josh Tickell

Producción de Biodiesel a Partir de Cultivos de Aceite Vegetal Virgen

La energía obtenida del aceite vegetal tiene su origen en la radiación solar y la acumulación de esta energía por las plantas.

Existen alrededor de 350 especies de plantas de las cuales se puede obtener aceite para la producción de Biodiesel, importantes factores como: suelo, clima, altitud van a mejorar la calidad y cantidad de aceite obtenido de ellas.

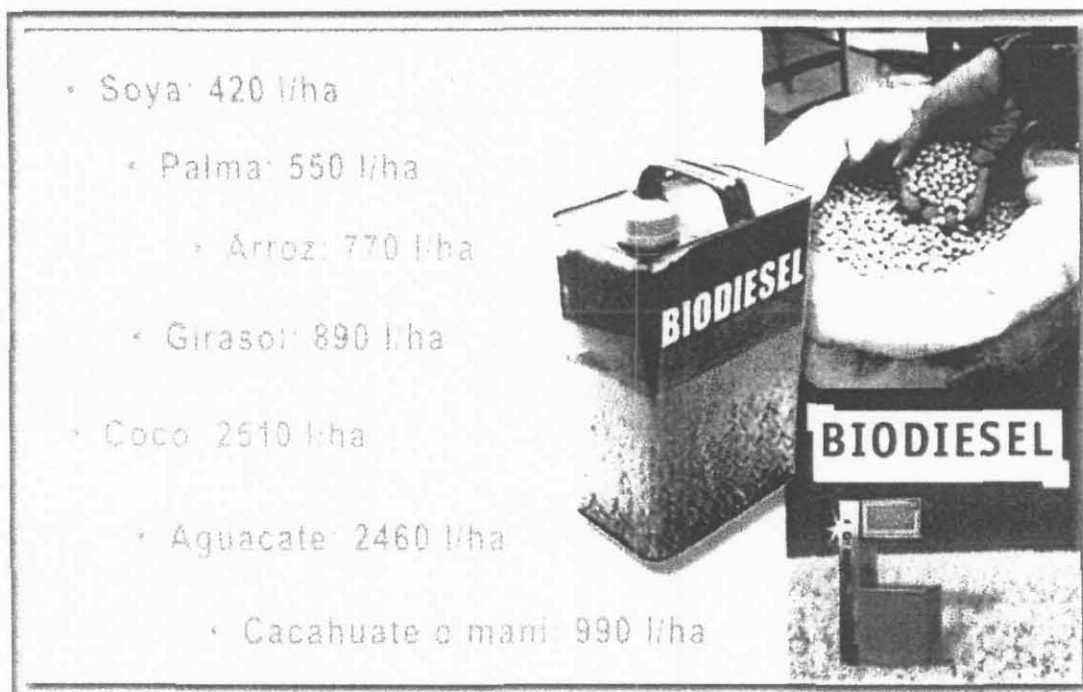


Figura 1.13 Cultivos para la producción de Biodiesel

http://sepiensa.org.mx/contenidos/2006/biodiesel/biodiesel_2.htm

Una vez que el cultivo es cosechado este se prensa para poder obtener el aceite, generalmente se hace a través de una prensa de tornillo en la cual se trituran y exprimen ya sea las semillas o plantas, después de ser prensado, se dejan reposar con el fin de que los residuos asentados puedan ser retirados mediante una serie de filtros que van de los 150 hasta 5 micrones.

Una vez obtenido el aceite este debe pasar por el proceso de Transesterificación, para poder convertirse en Biodiesel.

Biodiesel a partir de aceite vegetal usado

Existen diferentes métodos experimentales para la producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal usado como por ejemplo: Método de Mike Pelly⁶, Método base-base y Método ácido-base, para este trabajo será utilizado el método de Mike Pelly con algunas variantes propuestas por el autor Joshua Tickell. Cabe mencionar que dentro del capítulo segundo cada uno de los distintos pasos serán expuestos nuevamente pero con las aportaciones propias de la Ingeniería Mecatrónica.

Método de Mike Pelly

❖ Filtrar el aceite para quitarle los restos sólidos.

Este paso es necesario pues en el aceite existen restos de comida., Es recomendable usar un paño o papel filtro

❖ Realizar una la valoración para determinar cuánto catalizador es necesario.

Este paso es de suma importancia ya que es la base para la Transesterificación y la eliminación de ácidos grasos libres, los reactivos que se necesitan son: Hojuelas o gránulos de sosa cáustica, alcohol isopropílico, una pequeña muestra del aceite que se utilizará y agua destilada, así como algún medio para medir el pH.

1. Preparar un solución mezclando un gramo de sosa cáustica en 1 litro de agua destilada

⁶ Mike Pelly vive en el noroeste de EE.UU. "Vivo para los proyectos de energías renovables", dice. Durante los cinco últimos años Mike ha estado produciendo biodiesel con aceite usado en la cocina, y lo ha probado en muchos autos distintos. Le parece que es "mucho mejor" que diesel fósil.

2. Preparar otra solución mezclando 1 ml de tu muestra de aceite en 10 ml de alcohol isopropílico.
3. Agregar un mililitro de la solución de sosa y agua destilada dentro de la solución de aceite y alcohol isopropílico
4. Medir el pH. de la solución donde se encuentra el aceite
5. Repetir los pasos 3 y 4 hasta que el pH. de tu solución este en el rango de 8 a 9. Contando cuantos mililitros se agregaron.
6. El número de mililitros agregados en la solución (x) te darán la cantidad necesaria de catalizador para llevar a cabo la Transesterificación a una escala mayor. Mediante la siguiente fórmula:

$$(X + 3.5) = L$$

Donde

L = Al número de gramos necesarios para neutralizar y hacer reaccionar un litro de aceite vegetal.

❖ Preparar el Metóxido de sodio

Generalmente la cantidad de metanol necesaria es del 20% de la cantidad de aceite. Distintos aceites pueden tener distintas densidades dependiendo de su procedencia y de cómo hayan sido cocinados.

Cuando se mezcla el metanol con el hidróxido de sodio (sosa cáustica) se produce una reacción exotérmica cuyo resultado es el Metóxido de sodio. "Exotérmica" significa que desprende calor. Los utensilios que entren en contacto con la sosa deben estar totalmente secos.

Cuidadosamente vierte el metanol dentro del contenedor destinado a las reacciones, teniendo especial atención en no salpicar este fuera de este, posteriormente agrega la sosa y se mezcla hasta que la sosa este disuelta.

❖ **Mezclar el Metóxido de sodio con el aceite vegetal**

Después de haber formado el Metóxido de sodio mézclalo perfectamente con el aceite vegetal , por un periodo prolongado , en una producción mayor al menos por una hora.

❖ **Permitir que sedimente, y separa la glicerina.**

Dejar que la mezcla repose y se enfríe por lo menos durante ocho horas, preferiblemente más. La glicerina forma una masa gelatinosa en el fondo y el Biodiesel flota encima.

Se pueden separar drenándolos por un orificio en el fondo a través de un tubo transparente. La glicerina semilíquida es de color marrón oscuro; el Biodiesel es del color de la miel.

❖ **Filtrado de calidad**

Pasar el Biodiesel por un filtro comercial para agua de 5 micrones, esto eliminará impurezas , para hacerlo puedes utilizar una bomba de manera que el fluido tenga la suficiente fuerza para poder pasar de forma correcta por el filtro.

❖ **Lavar y secar el producto final.**

Hay más de una opinión sobre lo que se debe hacer con el Biodiesel antes de usarlo como combustible. Una de esas opiniones es que hay que dejarlo reposar durante una semana, más o menos, para que los residuos de jabón se hundan hasta el fondo.

Otro método consiste en separar los jabones del combustible lavándolo con agua una o varias veces. (La más recomendable) En el primer lavado es mejor añadir un poco de vinagre (ácido acético) al agua. Con el ácido acético se consigue que el pH del Biodiesel sea casi neutro, porque se une a los restos de lejía y los neutraliza.

❖ **Comprobar su calidad.**

Las especificaciones dictadas por la ASTM incluyen pruebas de cromatografía de los gases , pero pruebas sencillas pueden determinar el éxito de tu producción:

Inspección Visual

Debes poder observar sin mayor dificultad dos diferentes colores dentro de ya sea el contenedor de pruebas o en el reactor ; en el fondo una solución de color oscuro que es la glicerina, casi marrón, y sobre este un color mucho más claro que puede ir desde el dorado hasta el ámbar.

Punto de Enturbiamiento y Punto Gelatinización

Para determinar las características del Biodiesel en temperaturas bajas, evalúe el comportamiento de una muestra en el congelador, cada 15 minutos se medirá la temperatura y busca señales de enturbiamiento. Cuando algunos cristales comiencen a aparecer corresponde a la punto de enturbiamiento y cuando el Biodiesel se convierta en un gel será el punto gelatinización.

Capítulo 2

Medición del pH

Ingeniería es el arte de tomar una serie de decisiones importantes, dado un conjunto de datos incompletos e inexactos, con el fin de obtener para un cierto problema, de entre las posibles soluciones, aquella que funcione de manera más satisfactoria."

Universidad Nacional de Rosario

2.1 Introducción

Dentro de este capítulo se explica el concepto de pH, su origen, su escala de medición y la interpretación de esta para determinar el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias.

Así mismo algunos de los métodos más comunes para obtener una medición adecuada del pH se explican, teniendo especial atención en exponer de manera adecuada el funcionamiento del electrodo/sensor, el cual será utilizado dentro de este proyecto.

Finalmente se da a conocer la importancia que tiene la medición del pH dentro del proceso y su vital trascendencia en la calidad de nuestro producto final.

2.2 Concepto de pH

El pH es una medida de acidez o basicidad. El pH es el número de iones⁷ de hidrógeno libres $[H^+]$ en una sustancia. El término significa potencial de hidrógeno (del francés *pouvoir hydrogène*, 'poder del hidrógeno')

este término fue usado por primera ocasión por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno.

$$pH = -\log_{10} [a_{H^+}]$$

La escala de medición del está definida entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida, y aquella ubicada exactamente en el valor 7 se denomina neutra.

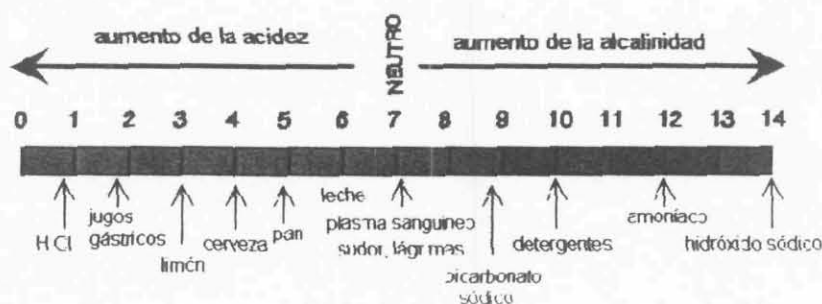


Figura 2.1 Escala del pH

<http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/pH.jpg>

2.3 Métodos de Medición del pH

Existen varios métodos diferentes para medir el pH algunos de los más utilizados son los siguientes:

⁷ Ion, partícula que se forma cuando un átomo neutro o un grupo de átomos ganan o pierden uno o más electrones. Un átomo que pierde un electrón forma un ion de carga positiva, llamado catión; un átomo que gana un electrón forma un ion de carga negativa, llamado anión.

Sustancias Indicadoras de pH

Habitualmente, se utilizan como indicador sustancias químicas que cambia su color al cambiar el pH de la disolución. Se trata generalmente de compuestos orgánicos complejos de peso molecular medianamente elevados, los cuales en disolución se comportan como ácidos o bases débiles.

Los más conocidos son el naranja de metilo, que cambia en el intervalo de 3,1 - 4,4, de un color rojo a uno naranja, y la fenolftaleína, que va desde un pH 8 hasta un pH 10, transformando disoluciones incoloras en disoluciones con colores rosados / violetas.



Figura 2.2 Indicadores de pH
http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Indicateurs_color%C3%A9s_de_pH.jpg

Papel indicador de pH.

Este método es más barato, en este se introduce un trozo papel impregnado con uno o más indicadores en una solución, el cual cambiará de color al entrar en contacto, cada color indica un valor de pH, este método no es muy preciso y no es apropiado para determinar valores de pH exactos ya que solo muestra algo cercano a lo que es el pH de una solución. Es por eso que ahora hay tiras de disponibles, que son capaces de determinar valores más pequeños de pH, tales como 3.5 o 8.5.



Figura 2.3 Papel Indicador

http://www.es.sccdcwy.org/link-Indicador_de_pH

Sensores de pH

Cuando un metal entra en contacto con otro, una diferencia de potencial se produce debido a la diferencia en la movilidad de sus electrones. Así mismo cuando un metal entra en contacto con una solución de sales o ácidos, se produce un potencial eléctrico similar, principio básico de las baterías, semejante a esto, un potencial eléctrico se produce cuando un líquido entra en contacto con otro, pero una membrana es necesaria mantener tales líquidos separados.

Un medidor de pH mide esencialmente el potencial electroquímico entre un líquido conocido dentro del electrodo de cristal (membrana) y un líquido exterior desconocido. Debido a que el cristal fino permite que los iones hidrogenados interactúen con él, el electrodo del vidrio mide el potencial electroquímico de iones hidrogenados o "Potencial del hidrógeno". Para terminar el circuito eléctrico, un electrodo de referencia es necesario. Un medidor de pH no mide corriente eléctrica solamente un voltaje, una pequeña fuga de iones del electrodo de referencia es necesaria, para formar un puente que conduce al electrodo de cristal.

El electrodo de referencia consiste en un tubo de cristal con un electrólito del cloruro de potasio (KCl) que esté en contacto íntimo con cloruro mercúrico unida por una extremidad a un material *cerámico*.

El electrodo de cristal consiste en un tubo de cristal robusto con un bulbo de cristal fino soldado con autógena a él. Dentro de es una solución de cloruro del potasio (KCl) con un pH de 7.0. Un electrodo de plata con una extremidad hace contacto con la solución interior. Para reducir al mínimo interferencia electrónica, la punta de prueba es blindada.

La mayoría de los medidores de pH modernos también tienen una punta de prueba de la temperatura del termistor que permita la corrección de temperatura automática, puesto que el pH varía algo con temperatura.

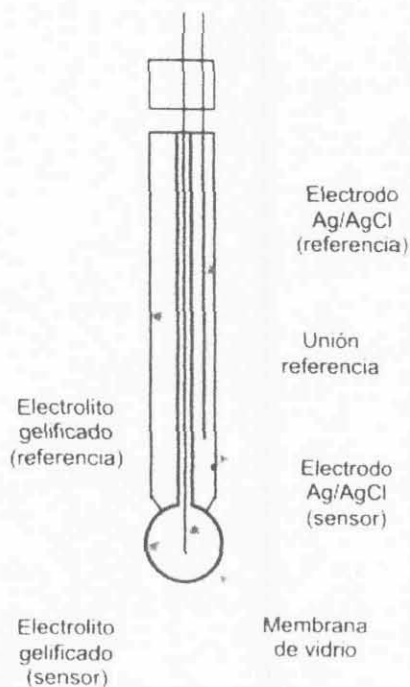


Figura 2.4 Medidor de pH

<http://www.idegis.org/>

2.4 Importancia de la medición del pH en la valoración del aceite dentro del proceso de producción de Biodiesel

La escala de pH es una forma de medir la acidez o basicidad de las sustancias, esta va desde el 0 al 14, siendo el valor de 7 el valor neutro, entre mas por debajo de este se encuentre una sustancia será más ácida y cuando se encuentre por encima de este será una sustancia básica.

Una regla es que cuando existen pH opuestos, estos se atraen y reaccionan, por ejemplo la reacción del Biodiesel ocurre entre un ácido y dos bases, El aceite vegetal es un ácido. El alcohol que se utiliza así como el catalizador son las bases. La cantidad de catalizador usada en la reacción dependerá del pH del Aceite Vegetal. El éxito de la reacción que producirá Biodiesel depende de la correcta medición del pH, o la acidez, del aceite vegetal

El aceite vegetal usado es mas ácido que el aceite sin utilizar, debido a que el primero ha sido calentado o utilizado para freír, el aceite vegetal está compuesto por triglicéridos, pero al ser calentado estos se rompen y se forman ácidos grasos libres los cuales deben ser eliminados para producir Biodiesel esto implica un proceso de neutralización la cual se lleva a cabo agregando catalizador.

Generalmente al inicio de la valoración de la muestra de aceite, esta tiene un pH de 5 y este quedara neutralizado cuando su pH sea superior a 8, (proceso de titración).

Capítulo 3

Elementos del Sistema de Control del Proceso

Una máquina puede hacer el trabajo de 50 hombres corrientes. Pero no existe ninguna máquina que pueda hacer el trabajo de un hombre extraordinario.

Elbert Hubbard

3.1 Introducción

La automatización de procesos de todo tipo es una tendencia cada vez más común ligada al surgimiento de nuevas necesidades y el desarrollo tecnológico que involucra:

- Mejorar la calidad
- Producir las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Mejorar la productividad y reducir costos.
- Facilitar los cambios en la producción.

Definición de Sistema Automatizado.

Un sistema, máquina o proceso automatizado es aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención humana) a los cambios que se producen en el mismo, ejecutando acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado. La figura muestra la estructura típica de un sistema automatizado:

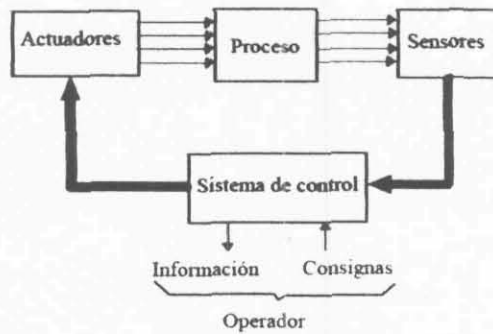


Figura 3.1 Sistema Automatizado

<http://www.esid.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=I&codigo=S25&fichero=1099409180IS25>

El sistema de control lo constituye normalmente un **equipo electrónico programable**, (Microcontroladores, Controladores Lógicos Programables) que activa y desactiva los **actuadores**, elementos capaces de producir un efecto sobre el proceso (cilindros neumáticos e hidráulicos, motores eléctricos, electroválvulas, etc.), en los momentos adecuados de acuerdo a las señales de los **sensores** que son elementos que captan *propiedades físicas del proceso (como presencia de objetos, velocidad, temperatura, etc.)* y producen una señal eléctrica en función de estas propiedades

Como el sistema de control únicamente maneja señales eléctricas se deben adaptar a los actuadores un elemento de **interfaz (o pre actuador)** que reacciona a esas señales.

Dentro de este capítulo se desarrollan conceptos fundamentales de los componentes utilizados para el control y automatización del proceso de producción de Biodiesel, a excepción del sensor de pH al cual se le dedicó un apartado en el capítulo anterior dada su importancia dentro del proceso.

Se inicia con todos aquellos elementos presentes en la interfaz de comunicación para la acción de los actuadores, que acondicionan la lectura del sensor con el fin de ser interpretada de manera adecuada por el equipo electrónico programables (Microcontrolador).

Conceptos generales de Microcontroladores son expuestos a su vez dentro de este capítulo, así como todos los elementos utilizados para adecuar las salidas de este y a hacer funcionar de manera correcta a los actuadores presentes, cuya operación y conceptos fundamentales son explicados en este mismo.

3.2 Amplificadores Operacionales

El concepto amplificador operacional fue asignado alrededor de 1940 para designar una clase de amplificadores que permiten realizar una serie de operaciones tales como suma, resta, multiplicación, integración, diferenciación, etc., las cuales eran importantes dentro de la computación analógica. Con la aparición de los circuitos integrados, el primer amplificador operacional monolítico arribó alrededor en los 60's era el Fairchild $\mu A702$ (1964), diseñado por Bob Widlar. Le siguió el Fairchild $\mu A709$ (1965), también de Widlar, sustituido más tarde por el popular Fairchild $\mu A741$ (1968), de David Fullagar.

Descripción

El amplificador operacional es un dispositivo el cual tiene capacidad para manejar señales desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene además límites de señal que van desde el orden de los nV , hasta unas docenas de voltio. Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta.

El Amplificador Operacional ideal se caracteriza por:

1. Resistencia de entrada, (R_{en}), tiende a infinito.
2. Resistencia de salida, (R_o), tiende a cero.
3. Ganancia de tensión de lazo abierto, (A), tiende a infinito
4. Ancho de banda (BW) tiende a infinito.

5. $v_o = 0$ cuando $v_+ = v_-$.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional

Los amplificadores operacionales prácticos tienen ganancia de voltaje muy alta (típicamente 10^5), sin embargo esta ganancia varía con la frecuencia.

Para contrarrestar esto, se utilizan elementos externos para retroalimentar una porción de señal de la salida en la entrada.

Con realimentación, la ganancia de lazo cerrado depende de los elementos de realimentación y no de la ganancia básica de tensión del amplificador operacional. Los circuitos que utilizan amplificadores operacionales, resistores y capacitores, se pueden configurar para realizar diversas operaciones como sumar, restar, integrar, filtrar, comparar y amplificar.

Algunas configuraciones básicas son las siguientes:

Inversor

Este es el circuito de ganancia constante más ampliamente usado. El voltaje de salida se obtiene al multiplicar la entrada por una ganancia fija constante, establecida por la relación entre R_f y R , resultando invertida esta señal respecto a la entrada.

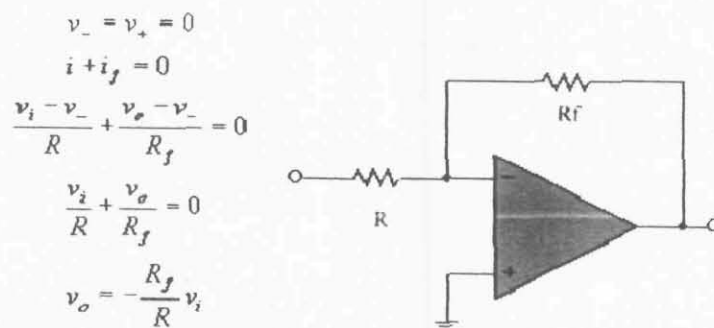


Figura 3.2 Amplificador Inversor
<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2912/>

No Inversor

En este caso el voltaje de entrada es aplicada en la terminal no inversora obteniéndose así un voltaje de salida proporcional al voltaje de entrada.

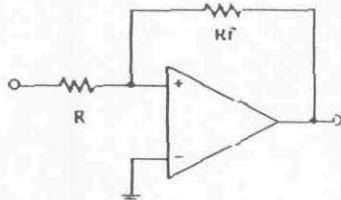
$$\begin{aligned}
 v_- &= v_+ = v_i \\
 i + i_f &= 0 \\
 \frac{v_i - v_-}{R} + \frac{v_o - v_-}{R_f} &= 0 \\
 \text{ya que } v_- &= 0 \\
 -v_- \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_f} \right) + \frac{v_o}{R_f} &= 0 \\
 v_o &= R_f \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_f} \right) v_i \\
 \text{Como } v_- &= v_+ = v_i, \text{ entonces} \\
 v_o &= \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) v_i
 \end{aligned}$$


Figura 3.3 Amplificador No Inversor

Diferencial

El caso más general de configuración es una combinación de los dos modos anteriores. Es decir, permitir entrada tanto por la puerta inversora como por la no - inversora. La señal de salida será proporcional a la diferencia entre las entradas, y estará en fase con las señales aplicadas.

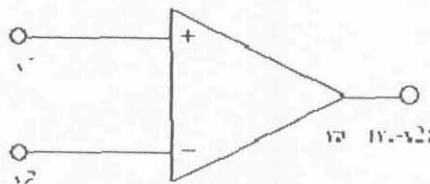


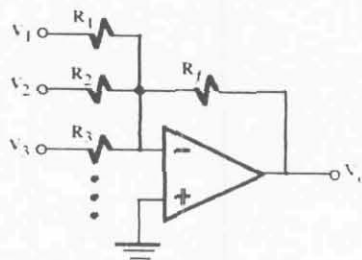
Figura 3.4 Amplificador diferencial

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2912/>

Sumador

Permite sumar algebraicamente varias señales analógicas, El voltaje de salida se expresa en términos del voltaje de entrada de la siguiente manera:

$$V_o = -R_f(V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3 \dots) = -R_f \left(\sum_{i=1}^N \frac{V_i}{R_i} \right)$$



Amplificador sumador.

Figura 3.5 Amplificador sumador

<http://grupos.unican.es/dyvci/ruizrg/postscript/LibroEcaBasica/Tema8.pdf>

3.3 Puente H

El término “puente H” proviene de la típica representación grafica de su circuito. Un puente H es un circuito electrónico que permite controlar el sentido del giro de un motor (avance o retroceso). Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos

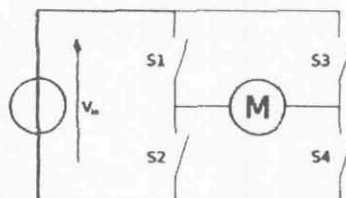


Figura 3.6 Estructura de un puente H

http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:H_bridge.svg

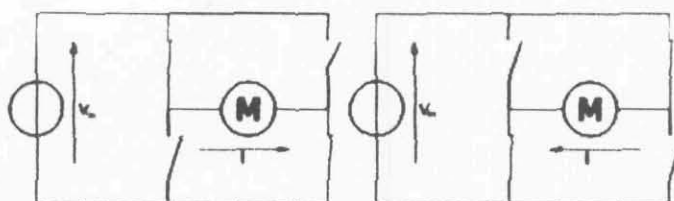


Figura 3.7 Estados basicos del puente H

http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:H_bridge_operating.svg

Un puente H esta constituido por 4 interruptores (mecánicos o transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 se encuentran cerrados, y así mismo los interruptores S2 y S3 están abiertos, se aplica una tensión positiva en el motor, haciendo girar el motor en un sentido. En el caso contrario (S2 y S3 cerrados; S1 y S4 abiertos), la tensión que se aplica en el motor esta invertida, invirtiendo el giro de este.

Sin embargo es importante nunca cerrar simultáneamente los interruptores S1 y S2 ó S3 y S4, ya que esto generaría un corto circuito.

Los puentes H además de ser usados para cambiar el sentido del giro de un motor, también pueden utilizarse para frenarlos bruscamente (fast-stop) o incluso para permitir que el motor frene bajo su propia inercia.

Tabla 3.1 Estados del motor de acuerdo a las señales de un puente H

S1	S2	S3	S4	Resultado
1	0	0	1	Avance
0	1	1	0	Retroceso
0	1	0	1	Freno Brusco
0	0	0	0	Freno por inercia

3.4 Regulador de Tensión

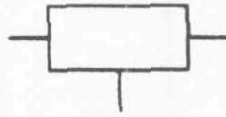


Figura 3.8 Símbolo IEC de un Regulador de tensión

es.wikipedia.org/wiki/Regulador_de_tensi%C3%B3n

Un regulador de tensión o de voltaje es un dispositivo electrónico cuya finalidad es proteger aparatos eléctricos y electrónicos de variaciones de diferencia de potencial, descargas eléctricas y ruido latente en la corriente alterna.

Los reguladores de voltaje se encuentran presentes en las fuentes de alimentación de corriente continua para proporcionar una tensión constante en su salida. Estos elevan o disminuyen la corriente para que el voltaje permanezca estable, es decir sin irregularidades.

Generalmente el voltaje que llega a las tomas de corriente no es adecuada para alimentar los aparatos electrónicos. La mayoría de los circuitos electrónicos necesitan una tensión de menor amplitud y valor continuo en el tiempo.

Dentro de los reguladores de voltaje con salida fija, se encuentra la familia LM78XX, donde XX representa el voltaje de salida. Dichos voltajes son 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18 y 24v, entregando una corriente hasta de 1 Amper y soportando consumos picos máximos de 2.2 Amperes.

Estos integrados poseen protección contra sobrecargas terminas o cortocircuitos, Para alcanzar la corriente máxima de 1 Amper es necesario dotarlo de un disipador de calor adecuado, sin el solo obtendremos una fracción de esta corriente antes de que el regulador alcance su temperatura máxima y se desconecte.

La potencia que consume el regulador de voltaje depende del voltaje de entrada, al mismo tiempo hay que tomar en cuenta, por recomendación del fabricante, que este

voltaje debe ser superior aproximadamente en 3 volts al voltaje de salida ya que el calor generado será mucho menor y en consecuencia el disipador necesario también se aminorará.

3.5 Relevador

Un relevador o relé es un dispositivo que controla el estado de un interruptor mediante una entrada eléctrica y permite controlar un dispositivo de gran potencia mediante un dispositivo de potencia mucho menor.

Un relé está formado por un electroimán y unos contactos conmutadores mecánicos que son impulsados por el electroimán. Este electroimán solo requiere unos pocos miliamperios generada por una tensión de sólo unos voltios, mientras que los contactos pueden estar sometidos a una tensión de cientos de voltios y soportar el paso de decenas de amperios. Por tanto, el conmutador permite que una corriente y tensión pequeñas controlen una corriente y tensión mayores, por lo que puede considerarse, en un sentido amplio, como amplificador eléctrico.

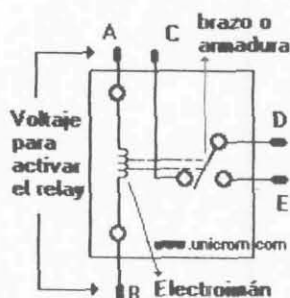


Figura 3.9 Diagrama interno de un Relé

Como se muestra en la Figura anterior, si el electroimán es activado, el contacto es jalado haciendo que se conecten los puntos C y D. Y si el electroimán es desactivado se genera un contacto entre los puntos E y D. Es importante saber cuál es el voltaje de activación del electroimán, sino el brazo no se movería y no se obtendrían los dos estados.

Ventajas del Relé

- Permite el control de un dispositivo a distancia. No se necesita estar junto al dispositivo para hacerlo funcionar.
- El Relé es activado con poca corriente, sin embargo puede activar grandes máquinas que consumen gran cantidad de corriente.
- Con una sola señal de control, puedo controlar varios relés a la vez.

3.6 Microcontrolador

Un Microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador.

Un Microcontrolador es un solo circuito integrado que contiene todos los elementos electrónicos que se utilizaban para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador, con ventaja en la reducción de espacio.

- Una CPU (Central Processor Unit o Unidad de Procesamiento Central) que interpreta las instrucciones de programa.
- Una memoria PROM (Programmable Read Only Memory o Memoria Programable Solamente para Lectura) el cual memoriza permanentemente las instrucciones de programa. Otros modelos de Microcontroladores tienen memoria de programa de tipo EEPROM y otros de tipo FLASH
- Una memoria RAM (Random Access Memory o Memoria de Acceso Aleatorio) utilizada para memorizar las variables utilizadas para el programa.
- Una serie de LINEAS de Entrada/Salida para controlar dispositivos externos o recibir pulsos de sensores, switches, etc.

El Microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador, por esta razón también es llamado “microcomputadora”. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna.

Hoy en día, existen una gran cantidad de productos que incorporan un Microcontrolador con la finalidad de reducir su tamaño y coste. En la vida diaria, están siendo empleados en juguetes, televisores, reproductores de video y audio, impresoras, módems, etc.

Una aplicación típica podría emplear varios Microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

3.7 Actuadores

Se considera un actuadores a todo aquel elemento que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Antes de elegir un actuador, es indispensable considerar las siguientes características: potencia, control, peso, volumen, precisión, velocidad, mantenimiento y coste.

Los actuadores se clasifican en 3 grupos, según la energía que utilizan:

1. Neumáticos
2. Hidráulicos
3. Eléctricos

En general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita mover grandes cargas y una gran precisión de velocidad; y los neumáticos son simples posicionamientos aunque la precisión es limitada. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico.

Actuadores Eléctricos

Debido a que los actuadores eléctricos usan como fuente de poder la energía eléctrica, son más sencillos de utilizar en comparación de los actuadores neumáticos e

hidráulicos. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. Por lo tanto, los actuadores eléctricos son los más utilizados, por su fácil y preciso control.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse dos tipos:

- **Motores de corriente continua (DC)**
- **Motores de corriente alterna (AC)**

Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.

Como la mayoría de los motores, estos están constituidos fundamentalmente por 2 elementos: El estator y el rotor. Dentro de estos elementos se encuentran otros compuestos que los complementan para realizar la función del motor.

Tabla 3.2 Tabla de distribución de las piezas del motor

	<i>Elementos</i>
ROTOR	Eje, núcleo, devanado y colector
ESTATOR	Armazón, imán permanente, escobillas, porta escobillas y tapas

Rotor

Forma la parte móvil del motor la cual proporciona el torque para mover a la carga y está formado por:

- **Eje:** Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.
- **Núcleo:** Se localiza sobre el eje y su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.

- **Devanado:** Está formado por bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Se encuentran ubicadas en las ranuras y están conectadas eléctricamente con el colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un camino de conducción conmutado.
- **Colector:** también llamado conmutador, está compuesto por láminas de material conductor, separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito. La función del colector es recoger la tensión originada por el devanado inducido, transmitiéndola al circuito por medio de las escobillas.

Estator

Constituye la parte fija de la máquina. Su función es proveer el flujo magnético al embobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio y está constituido por los siguientes elementos:

- **Armazón o Yugo:** Tiene la función de servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.
- **Imán permanente:** Compuesto de material ferromagnético altamente remanente, se encuentra fijado al armazón. Su función es proporcionar un campo magnético uniforme al devanado del rotor, de modo que en conjunto con el campo formado por el bobinado se origine el movimiento rotativo.
- **Escobillas:** La función de las escobillas es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y al bobinado del rotor.

Motores de Corriente Continua

Los motores de corriente continua, como su nombre lo indica, son aquellos que trabajan o se alimentan con corriente continua. Dentro de la electrónica, los motores de corriente continua más utilizados son los motores a pasos (PaP) y los servomotores por

su amplia gama de aplicaciones. Generalmente son empleados en situaciones donde se requiera posicionamiento preciso y exacto.

Motores Paso a Paso

El motor de paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, es decir, avanzando en serie de ángulos.

El ángulo de giro, o también llamado paso, puede variar desde 1.8° hasta 90° , aunque en la actualidad ya existen motores con pasos de 0.72° . Cada paso se efectúa enviando un pulso en una de sus terminales, por ejemplo, en motores que tienen 90° de giro por paso, se requiere 4 pulsos para dar una vuelta completa, mientras que en los de $1,8^\circ$ necesitas 200 pulsos.

Estos motores tienen la habilidad de enclavarse en una posición o quedar libres. Si se energiza una o más bobinas, el motor se enclava en la posición correspondiente por el contrario, quedará libre si no se alimenta ninguna de sus bobinas.

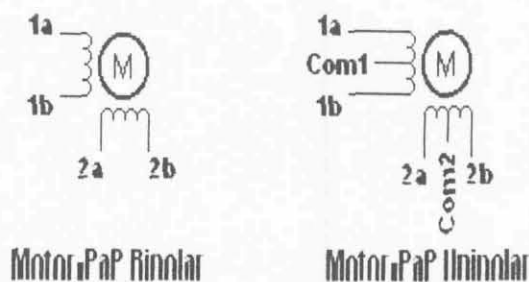


Figura 3.10 Motores a pasos

Motores Bipolares

Por lo general, estos motores se caracterizan por tener 4 cables de salida. Para poder ser controlados es necesario invertir el flujo de la corriente a través de las bobinas en una secuencia debida para realizar un movimiento. En la tabla siguiente se muestra la secuencia para hacer que el motor gira a la derecha; y para lograr girarlo a la izquierda se deberá invertir la secuencia.

Tabla 3.3 Secuencia para el funcionamiento de un motor a pasos bipolar

No de Pasos	1 ^a	2 ^a	1B	2B
1	+Vcc	Gnd	+Vcc	Gnd
2	+Vcc	Gnd	Gnd	+Vcc
3	Gnd	+Vcc	Gnd	+Vcc
4	Gnd	+Vcc	+Vcc	Gnd

Motores Unipolares

A pesar de que estos motores tienen más líneas de entrada (5 o 6 hilos), son más fáciles de utilizar ya que cuentan con uno o dos terminales comunes a las 2 bobinas; por lo que se deberá alimentar 1 o 2 líneas en una secuencia adecuada para realizar el giro.

Básicamente existen 3 maneras para controlar un motor PaP unipolar:

- En la primera secuencia, se activa una bobina por pulso y se utiliza cuando no es necesario un gran torque:

Tabla 3.4 Secuencia de Funcionamiento Motor a Pasos Unipolar

No. de Pasos	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

- Para la siguiente secuencia, se activan 2 bobinas por paso por que lo que el campo magnético se duplica y el giro del motor es con mayor fuerza.

Tabla 3.5 Secuencia de Funcionamiento Motor a Pasos Unipolar

No. de Pasos	A	B	C	D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

- Por último, en esta secuencia se duplica el número de pasos ya que es una mezcla entre las 2 secuencias anteriores. Por este motivo recibe el nombre de “medio paso”:

Tabla 3.6 Secuencia de Funcionamiento Motor a Pasos Unipolar

No. de Pasos	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0

6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Es importante tomar en cuenta la frecuencia con que se deben de mandar los pulsos ya que cada motor tiene un tiempo de respuesta específico. Si no se respeta, podría suceder que el motor gire de forma errónea o simplemente se quede enclavado en una sola posición.

Actualmente existen nuevas aplicaciones para los motores eléctricos en donde no se produce un movimiento rotativo, sino ejerciendo atracción sobre un riel, se genera un movimiento lineal. Por este motivo estos motores reciben el nombre de motores lineales.

Motores de Corriente Alterna

Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna. Existen 2 tipos de motores de corriente alterna, dependiendo del tipo de rotor usado:

Motores Síncronos

Los motores síncronos son llamados así, porque la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales. Los motores síncronos se usan en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante. El campo magnético en el rotor es generado por la corriente entregada con los anillos colectores o a por un imán permanente

Motores Asíncronos o Inducción

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. El campo magnético en el rotor de estos motores es creado por una corriente inducida, de aquí el nombre

3.8 Bombas

Una bomba es una máquina generadora que transforma la energía mecánica en energía hidráulica del fluido incomprensible que se mueve. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Esto recibe el nombre de sistema de bombeo.

Las bombas se pueden clasificar según el principio de funcionamiento en el que se basan:

Bombas de Desplazamiento Positivo o Volumétrico

El principio del funcionamiento en estas bombas está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. “El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara.

En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. A su vez estas se dividen en:

- **Bombas de émbolo alternativo.** En las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo. En este tipo, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente

- **Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas.** En las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina.

Bombas rotodinámicas

En estas bombas su funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Pueden subdividirse en:

- **bombas centrífugas.** Son aquellas en que el fluido ingresa a ésta por el eje y sale siguiendo una trayectoria periférica por la tangente.
- **bombas periféricas.** Son también conocidas como bombas tipo turbina, de vértice y regenerativas, en este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía.

Capítulo 4

Desarrollo del Proyecto

La ingeniería es factor fundamental en la construcción de ventajas Competitivas a través de la innovación tecnológica.

Revista Ingeniería y competitividad

4.1 Introducción

Este capítulo es de vital importancia, pues se exponen los aportes de la Ingeniería Mecatrónica en el desarrollo del sistema de producción, para lo cual inicialmente se determina de manera exacta el flujo de el proceso.

En segunda instancia el proceso de valoración del aceite o titración: su diseño, construcción y así como los detalles de su funcionamiento son desarrollado.

Un elemento preponderante en el sistema, es el tanque principal, en este capítulo se aborda su adaptación a los requerimientos del proceso.

A su vez las pruebas experimentales realizadas son descritas paso por paso , y una vez obtenido el producto final se realizan pruebas de calidad, cuyos resultados se encuentra al final de este capítulo.

4.2 Diagramas de Flujo

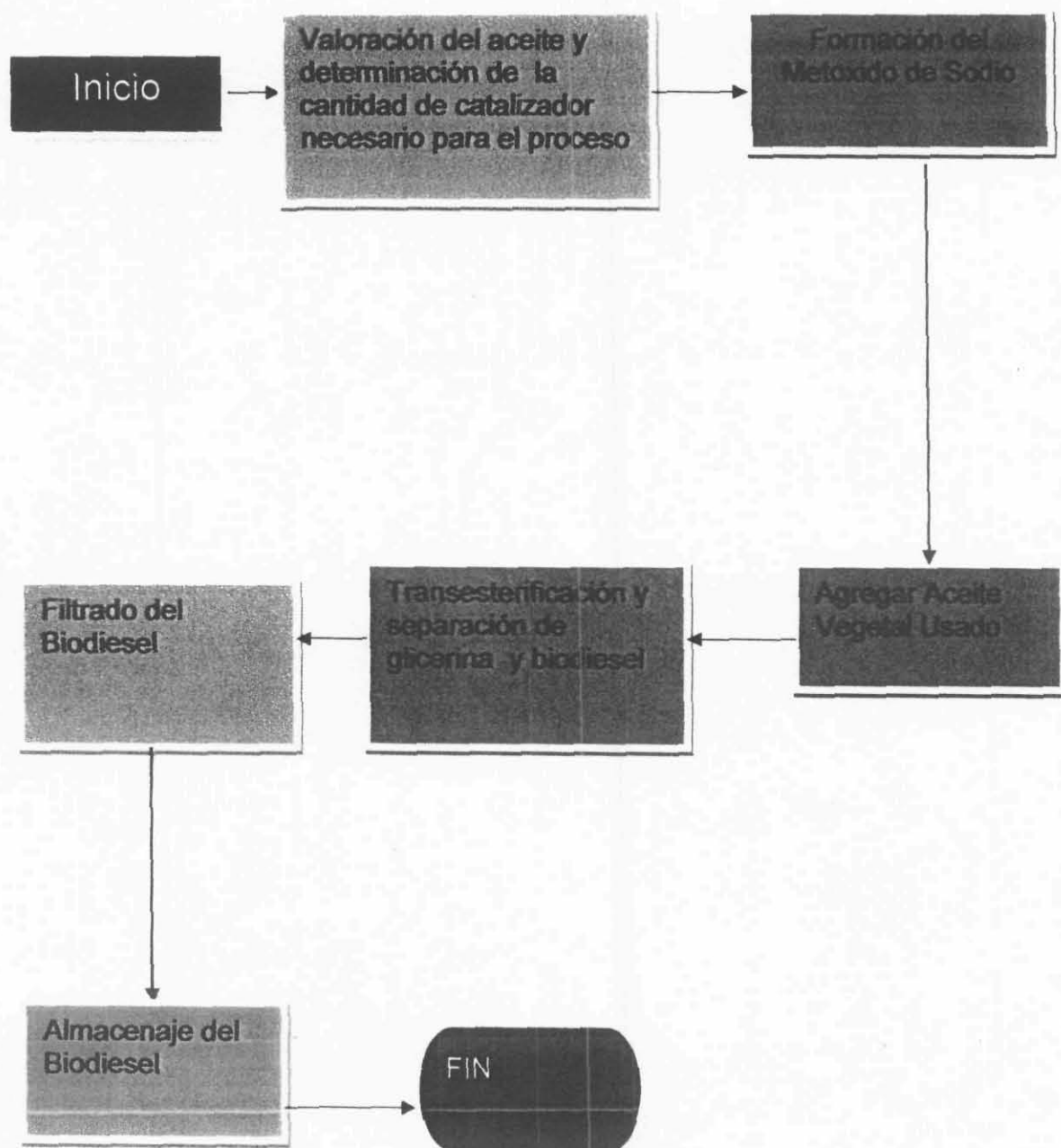


Figura 4.1 Diagrama de Flujo General
Elaboración Propia

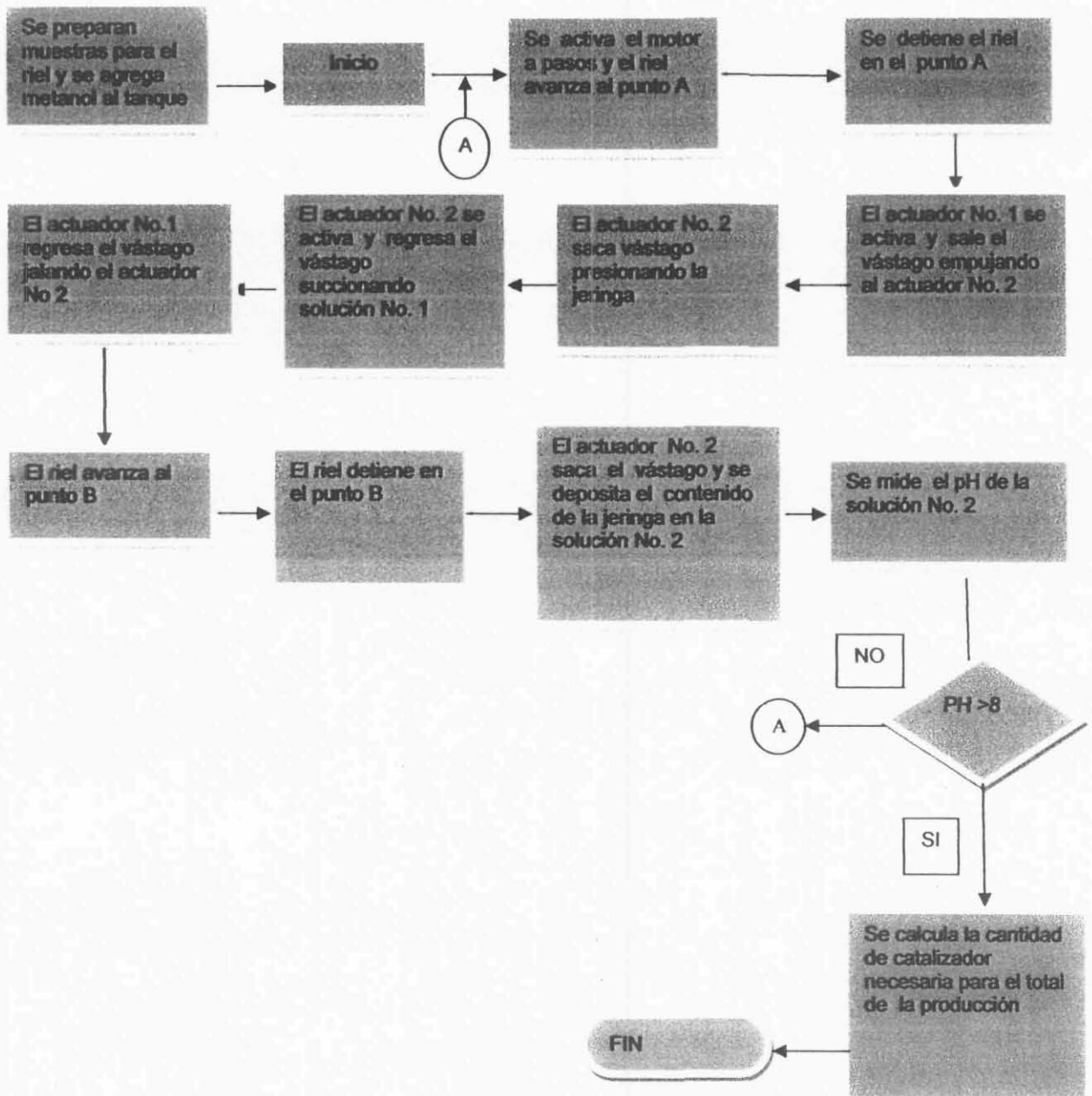


Figura 4.2 Diagrama de flujo de la Valoración del Aceite Vegetal y Determinación de la cantidad necesario para el proceso
Elaboración Propia

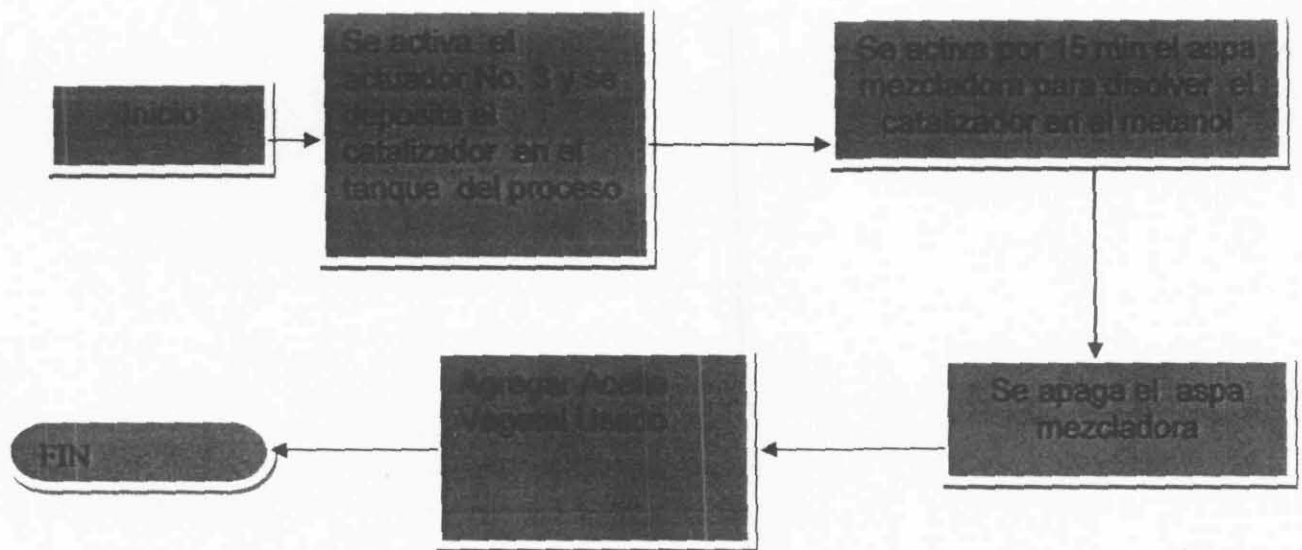


Figura 4.3 Diagrama de Formación del Metóxido de Sodio e Incorporación de Aceite Vegetal Usado
Elaboración Propia

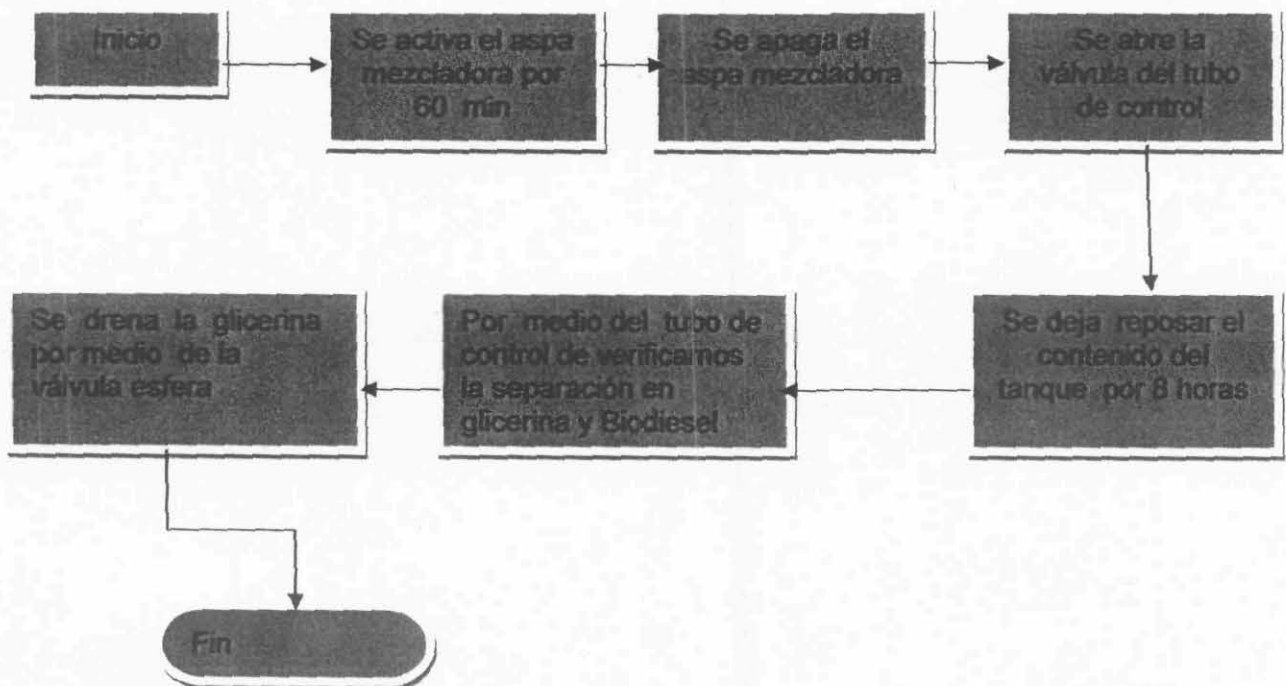


Figura 4. 4 Diagrama de flujo de la reacción de Transesterificación
Elaboración Propia

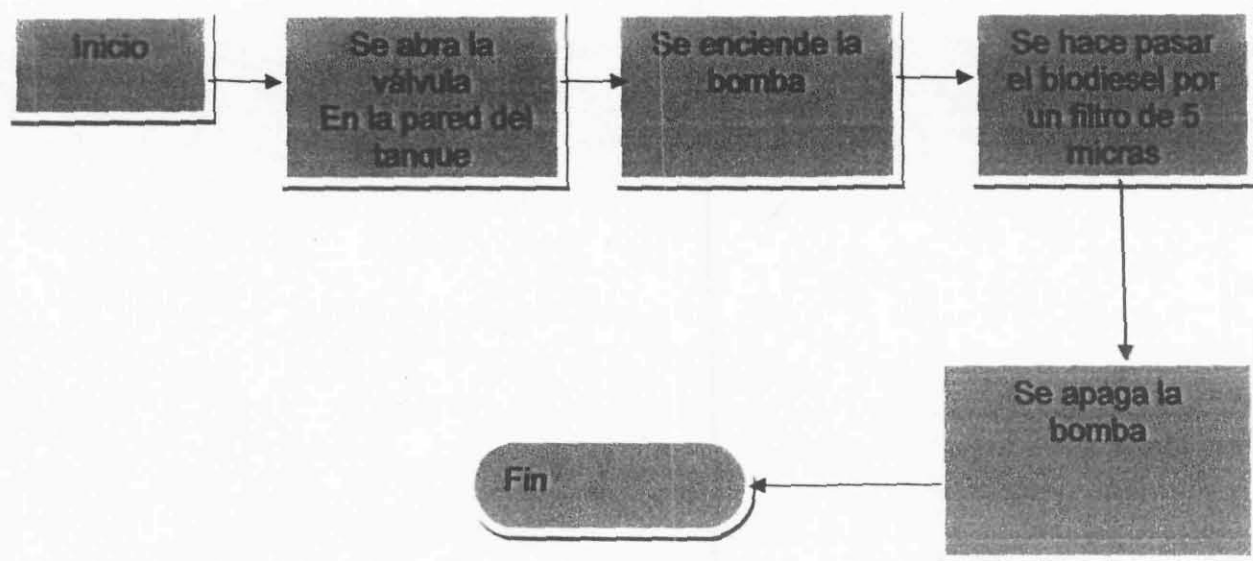


Figura 4.5 Diagrama de Flujo del filtrado del Biodiesel
Elaboración Propia

Finalmente el Biodiesel filtrado debe ser almacenado en un lugar en el que no esté expuesto a los elementos y sobretodo en donde no pueda ser contaminado por agua o a la formación de microorganismos, depósitos fabricados de acero inoxidable, aluminio o polietileno son las mejores opciones

4.3 Proceso de Titulación (Diseño y construcción)

La titulación del aceite es un método químico que tiene como propósito el determinar la cantidad de catalizador necesaria para llevar a cabo la Transesterificación y neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en el aceite.

En este proceso se debe utilizar alcohol isopropílico en lugar del metanol ya que este último reacciona con el aceite vegetal.

La cantidad de Hidróxido de Sodio (NaOH) o sosa caustica necesaria para llevar a cabo la Transesterificación es de 3.5 gramos por cada litro de aceite vegetal nuevo o de 9 gramos de Hidróxido de Potasio (KOH)

Como el objetivo general de este proyecto es obtener biodiesel utilizando como materia prima el aceite vegetal usado, es necesario adherir una cantidad extra de catalizador a la reacción para que la Transesterificación se lleve a cabo correctamente, ya que este aceite contiene ácidos grasos libres (AGL's)

Por cada muestra de aceite únicamente es necesaria una titración, aunque se deberá revolver vigorosamente todo el aceite para que se homogenice y así se obtengan las mismas propiedades en la prueba. Como cada aceite utilizado es diferente, es probable que no contengan la misma cantidad de AGL's por lo que se realizara una evaluación por cada muestra.

Para realizar la titración, se disuelve en un recipiente 1 gramo de NaOH (sosa caustica) en un litro de agua destilada, esta solución recibe el nombre de solución estándar. Por otro lado, disolver 1 mililitro de aceite usado en 10 mililitros de alcohol isopropílico.

Se deberá gotear la solución estándar en la solución aceite-alcohol, 0.5 mililitros a la vez. Después de cada mililitro, se medirá el pH de la solución, cuando este se incremente significativamente, indica que los AGL's se neutralizaron. Normalmente la cantidad de mililitros de solución estándar no excederá los 3ml.

El pH inicial de la solución estándar se encontrará entre valores cercanos a 5 o 6 y al ir agregando la solución aceite-alcohol, el pH se incrementa a 8 u 9 y representa el momento en que los AGL's han sido neutralizados. El número de mililitros agregados para la neutralización representa el número de gramos extras de sosa caustica necesarios para formar biodiesel por cada litro de aceite usado.

Para calcular la cantidad de catalizador necesario utilice la siguiente ecuación:

$$L =(X+3.5)$$

Donde

X = Número de mililitros de solución estándar agregados a la solución aceite-alcohol

L= Número de gramos de lejía necesarios para neutralizar y hacer reaccionar un litro de aceite de vegetal usados

Automatización de la Titración

En este proyecto, la manera en que se atacó la automatización de la Titración fue mediante un riel en el cual se encuentra colocada una jeringa cuya función es desplazarse a través de este para tomar una muestra (NaOH + Agua destilada) en un recipiente y colocarlo en otro (Aceite + Alcohol isopropílico), monitoreando el nivel de pH cada vez que se realice este movimiento.

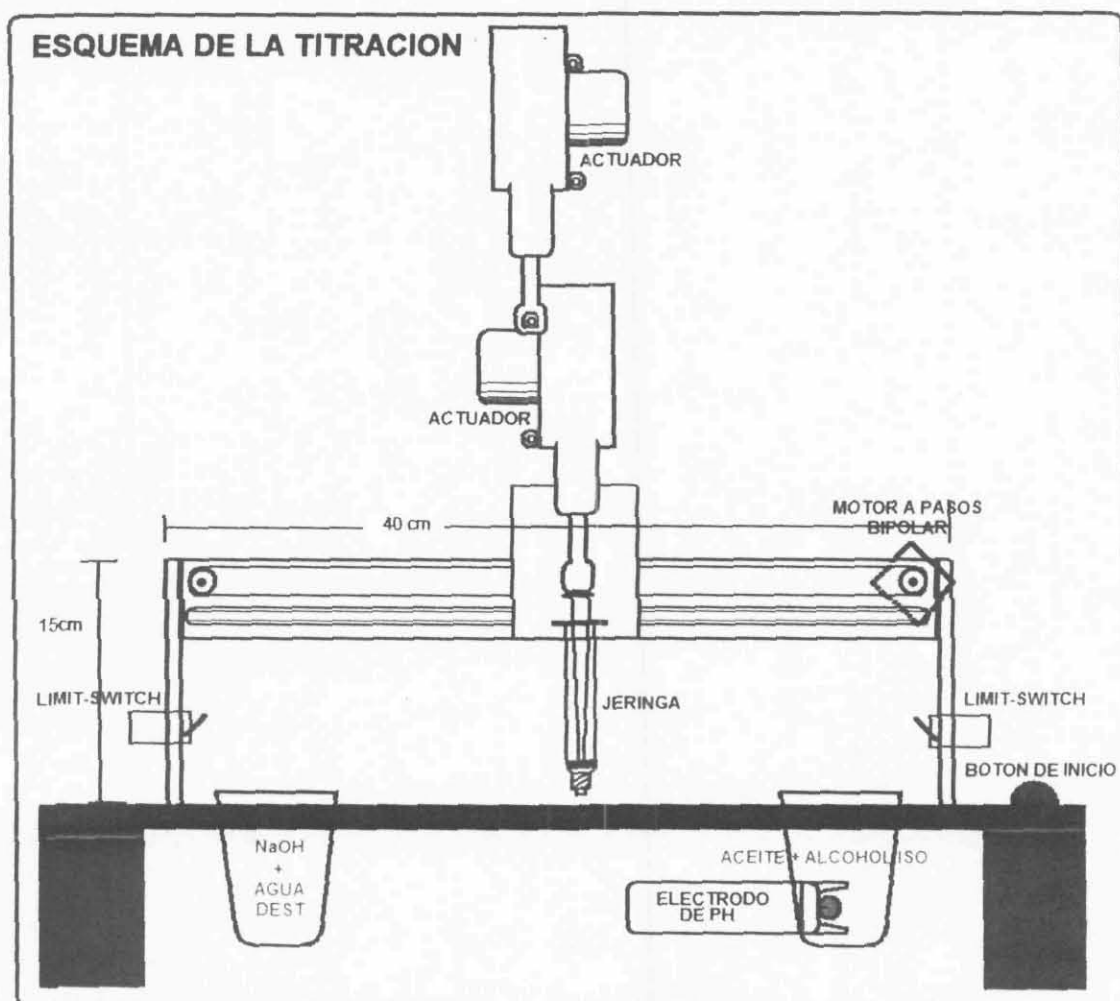


Figura 4.6 Esquema de la Titración
Elaboración Propia

Riel

El riel está formado por un motor a pasos bipolar el cual hace girar la banda para así poder desplazar, de derecha a izquierda y viceversa, la jeringa de un recipiente a otro. Estos recipientes se encuentran cada uno en los extremos del riel así como limit-switch que limitan la longitud de éste.

Como ya se ha explicado en el capítulo de “marco teórico”, un motor a pasos bipolar funciona haciéndole pasar pulsos con diferentes polaridades, por lo que fue necesario el uso del puente H L298N, ya que trabaja hasta con 2 amperes, y el Microcontrolador para mandar los pulsos en una secuencia específica.

Actuadores

Para poder montar la jeringa en el riel y asimismo cumpla con su función, se utilizaron 2 actuadores: El primero cuyo objetivo será el alzar y bajar la jeringa permitiéndole sumergirse en la muestra del recipiente con NaOH + Agua destilada; y el segundo ira conectado al émbolo de la jeringa para poder extraer dicha muestra para posteriormente expulsarla en el recipiente con Aceite + Alcohol isopropílico.

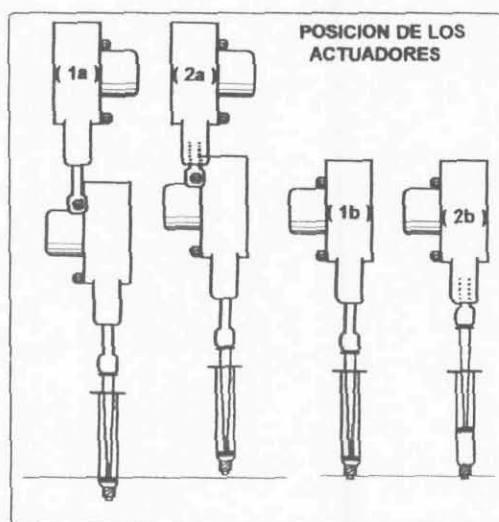


Figura 4.7 Posición de los Actuadores
Elaboración propia

Al igual que el motor paso a paso bipolar, los actuadores funcionan haciéndoles pasar pulsos en ambas polaridades, con la diferencia que estos se activan únicamente con 2: un pulso con polaridad positiva para expulsar el émbolo y otro con polaridad negativa para retraerlo.

Tomando en cuenta que todos los dispositivos son alimentados con 5v y sabiendo con ayuda de un amperímetro que el motor a pasos consume una corriente de 1.8A, se obtiene la potencia generada por este motor por medio de la siguiente fórmula

$$P = V \times I$$

Donde **P** es la potencia generada en Watts, **V** el voltaje en volts e **I** la corriente que pasa por el dispositivo en amperes.

$$P = (5v)(1.8A)$$

$$P = 9W$$

Este mismo método fue utilizado para obtener la corriente consumida en todos los componentes activos utilizados en este proyecto. De acuerdo a los valores arrojados por el amperímetro, se concluyo que es necesario utilizar una fuente que sea capaz de generar una corriente de 6 amperes aproximadamente. Por lo que se opto por utilizar una fuente de computadora, ya que esta cuenta con salidas a diferentes valores de voltajes y sus corrientes rebasan el amperaje necesario para hacer funcionar todo el circuito electrónico.

Corriente consumida por los led's: 45mA

Actuadores: 850mA por 3: 2.5 A

Motor a pasos: 1.8 A

Microcontrolador y puentes H: 80mA

Relevador: 500mA

Sensor de pH

Como ya se explicó con anterioridad, la variable que determina la cantidad de catalizador a usar en la reacción para obtener Biodiesel es el valor de pH. Un sensor de pH es un dispositivo que arroja un voltaje específico (-450mV a +450mV) que depende de la escala de pH (0 a 14). Para no trabajar con voltajes negativos en el Microcontrolador, se diseñó un arreglo con 2 OPAM's. La primera sección se encarga de sumar 450mV al valor de entrada para así tener únicamente voltajes positivos de 0 a 900mv. Al momento de realizar la suma se obtiene un valor invertido, lo que quiere decir que en la salida resultan valores de 0 a -900mV por lo que se incorporó una última sección la cual se encarga de invertir el valor negativo y así obtener valores positivos.

Proceso de Titulación

Antes de iniciar el proceso de titulación, es indispensable colocar las muestras de NaOH + Agua destilada (A) y de Aceite + Alcohol isopropílico (B) en sus respectivos recipientes, así como la cantidad de metanol necesaria para obtener los litros de biodiesel deseados. También es necesario colocar un kilogramo de sosa caustica en presentación de lentejas dentro del contenedor de éste ubicado a un constado del motor AC.

Otro punto importante que se debe tomar en cuenta es la calibración de la jeringa, es decir, situar ésta de tal manera que al accionar el actuador de extracción - expulsión, la jeringa toma únicamente 1ml de la muestra NaOH + alcohol isopropílico y no más o menos.

Una vez hecho lo anterior, es posible iniciar el proceso de titulación por medio de un botón de arranque. Al accionar éste, el Microcontrolador envía al motor paso a paso bipolar, la secuencia para desplazar la jeringa hacia el recipiente con la muestra de

NaOH + Agua destilada y a su vez activa al actuador que la alza para que no choque con el recipiente.

Al accionarse el limit-switch, el Microcontrolador recibe la señal y detiene el movimiento de la jeringa colocándola encima del recipiente antes mencionado. Al estar en esta posición, es el momento indicado para sumergir la jeringa mandando la señal que invierte el deslizamiento del vástago. Una vez abajo, se activa la señal del otro actuador para hacer que el émbolo de la jeringa suba y así se extraiga 1ml de la solución en el recipiente.

Una vez teniendo la muestra dentro la jeringa, el motor se acciona de nuevo desplazando a esta hacia el otro recipiente, no sin antes accionar el actuador para subirla. Al llegar al otro limit-switch, nuevamente se detiene la jeringa para después hacer funcionar el actuador que se encarga de arrojar la muestra dentro del recipiente con aceite más alcohol isopropílico

En este punto es donde se monitorea el pH, esperando un tiempo de 15 segundos antes de enviar el valor al Microcontrolador, ya que la solución se debe de homogenizar para no obtener resultados erróneos. Si el valor de pH es menor a 8, se repite todo el proceso anterior y se cuantifica las veces que esto sucede. Al contrario, si el valor es mayor a 8, se abre el fondo del depósito con las sosa caustica por medio de un actuador que lo sella, dejándola salir hacia el tanque principal, volviéndose a cerrar en un tiempo determinado.

El tiempo de apertura del depósito se traduce en cantidad de gramos de sosa caustica que se dejan salir. Este tiempo se calcula tomando en cuenta el número de veces que se repite el monitoreo de pH.

4.4 Acondicionamiento del Tanque Principal de Proceso

El primer paso en la construcción del sistema, consiste en hallar un tanque adecuado para llevar a cabo los procesos principales en el. Dentro de este apartado se describe el acondicionamiento y puesta a punto de dicho tanque.

Es importante considerar que debido al costo que implica la compra de un tanque construido de manera específica para este proyecto, se optó por recurrir a diferentes plantas industriales y adquirir alguno en desuso con características que pudiesen adaptarse al proyecto

El tanque más adecuado para llevar a cabo el proyecto, se adquirió en una planta refresquera siendo las siguientes sus principales características:⁸

Capacidad: 280.93 Litros

Material: Acero Inoxidable Espesor 6mm

Dimensiones: Largo 1.10 m Diámetro .57 m

Detalle

El tanque de forma cilíndrica y cuenta con tres orificios para tubería de salida, uno al fondo con un diámetro de 2" sin rosca y los otros dos en la pared con una separación entre ellos de .85 m y un diámetro de ½ " con rosca para conexión interna.

A su vez cuenta con 3 soportes en la parte inferior para poder utilizarlo de forma vertical y en la parte superior con una pestaña exterior de .05 m con 16 barrenos de un diámetro de .01 m.

⁸ Apéndice A Planos y dibujos técnicos



Figura 4.8 Tanque Principal

De acuerdo a estas características y a los pasos que se llevan a cabo en la producción del Biodiesel se realizan las modificaciones descritas a continuación.

Instalación de Tubería

La salida inferior de diámetro 2" no cuenta con rosca para conexión por lo cual se soldó un niple de acero inoxidable del mismo diámetro, con una longitud 10 cm y rosca exterior.



Figura 4.9 Instalación de Tubería

Posteriormente y con el objetivo de tener un mayor control del flujo se instala una reducción de PVC de 2" a ½".

Como siguiente paso se instala un divisor de flujo conocido comúnmente como "T" de PVC, el cual en uno de sus extremos está conectado a una sección de tubo y este a su vez a una válvula tipo esfera cuya finalidad es drenar hacia un depósito la glicerina obtenida al finalizar el proceso de producción, el otro conectado a otra válvula tipo esfera y posteriormente a una manguera transparente la cual corre paralela al tanque principal sirviéndonos como tubo de control para la separación del Biodiesel y la glicerina.

La salida ubicada en la parte inferior de la pared del tanque, la cual será por la cual fluya el Biodiesel y que cuenta con una rosca interior es conectada por medio de una sección de tubo a una válvula y esta al proceso de filtrado que se describirá posteriormente.

Adaptación del Aspa Mezcladora

Con la finalidad de formar en primera instancia el Metóxido de sodio y posteriormente llevar a cabo la transesterificación es de vital importancia mezclar de manera correcta los agentes involucrados, enfocados en este objetivo y con base en los diseños de las mezcladoras industriales o utilizadas en proyectos similares⁹, se elige el diseño que se muestra continuación



Figura 4.10 Aspa Mezcladora

<http://www.industrialar.com.mx/producto.php?Id=93>

⁹ <http://www.industrialar.com.mx/producto.php?Id=93>

El eje total es de .9 m de longitud y el aspa tienen una tercera parte de dicha longitud, en la parte inferior existe un círculo con un diámetro de .1 m del cual están unidas las secciones del aspa.

Para lograr una eficiente operación de las aspas serán alimentadas por un motor colocado en la parte superior del tanque con las siguientes características:

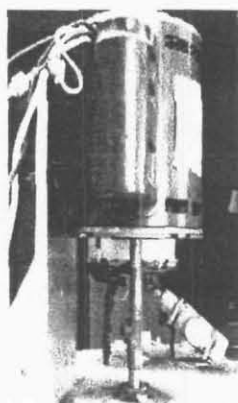


Figura 4.11 Motor

Motor Monofásico
Potencia: $\frac{3}{4}$ Hp
Voltaje 127 V a 60 Hz
1380 rpm
Kw 0.64

El motor es accionado por un relevador alimentado por una señal de control enviada desde el Microcontrolador, a su vez se le suministra un voltaje de 120V de la red eléctrica protegido mediante un centro de carga



Figura 4.12 Centro de Carga

El eje del motor es conectado al del aspa y por medio de un rodamiento colocado en la unión se logra un correcto giro, a su vez y con el propósito de evitar una excesiva vibración dentro del tanque se coloca un anillo como se muestra en la imagen.

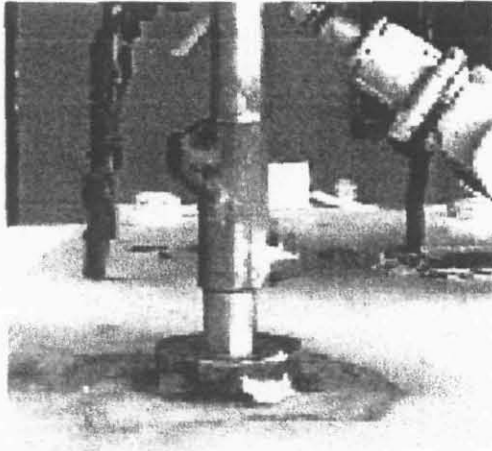


Figura 4.13 Unión eje motor y aspa

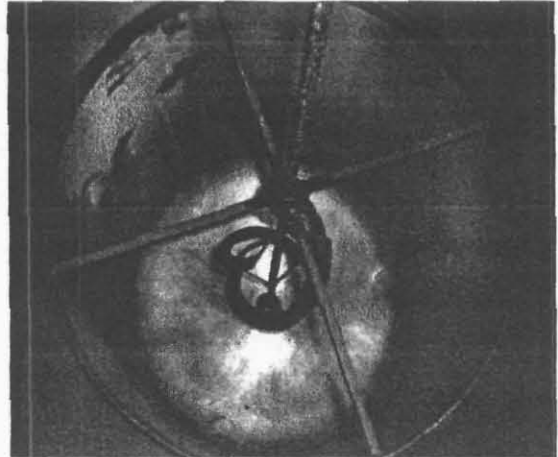


Figura 4.14 Anillo de Retención del aspa

Para soportar de manera eficaz el motor y las aspas se adapta un soporte en forma de cruz a la parte superior del tanque la cual aprovechando los barrenos de la pestana del tanque se fija por medio de tornillos.

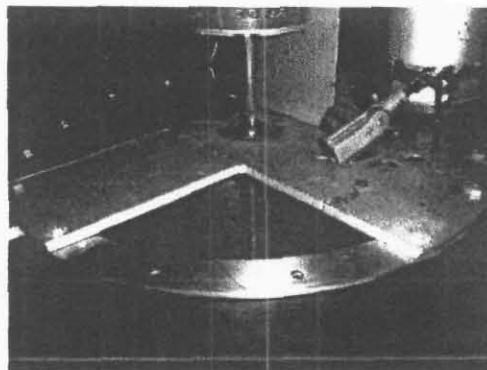


Figura 4.15 Soporte del motor

El soporte además cuenta con un orificio en uno de sus extremos en donde se fija el tubo de control mencionado en el apartado anterior.

Actuador y Depósito del Catalizador

Sobre el soporte se fija en uno de sus brazos un actuador eléctrico similar al que es usado para mover los seguros eléctricos de un automóvil.

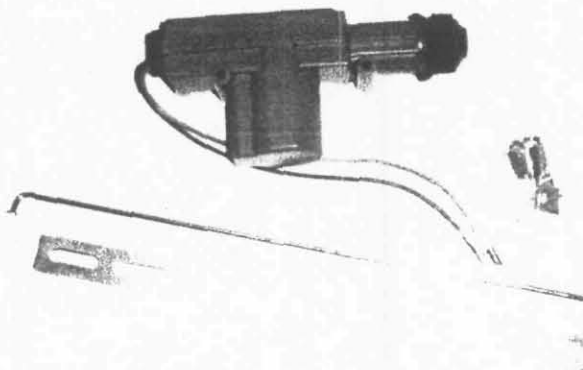


Figura 4.16 Actuador electrico

Dicho actuador es alimentado con 5V de corriente directa y su funcionamiento depende del circuito que define la entrada o salida del vástago ,con base al funcionamiento del C.I. L298n¹⁰ , controlado por la rutina del Microcontrolador, y tiene la función de verter el catalizador necesario para llevar a cabo la reacción principal de acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración de las muestras de aceite vegetal usado.



Figura 4.17 Integrado L298n

¹⁰ <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/1773.pdf>

El catalizador usado para llevar a cabo la transesterificación se denomina Hidróxido de Sodio (NaOH) comúnmente conocido como sosa caustica , el cual es corrosivo y peligroso al contacto, por lo cual debe manejarse con extrema precaución y almacenarlo dentro de un depósito aislado, además que su exposición al ambiente provoca que absorba humedad y comience a evaporarse.

Existen varias presentaciones de la sosa caustica pero para llevar a cabo de forma correcta la reacción se recomienda usar aquella que es 100% pura¹¹ en forma de escamas o lentejas.

El depósito de sosa se encuentra sobre el tanque principal montado en un soporte y tiene dentro de sí un embudo que facilita su salida por un orificio en la parte inferior, para evitar el contacto con el aire , el actuador tendrá cerrada una bisagra al activarse el vástago.

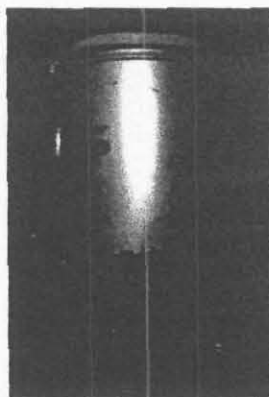


Figura 4.18 Contenedor de Sosa caustica

Adaptación de la Bomba y Filtro

Para llevar a cabo el proceso de filtración, la salida destinada al flujo del biodiesel es conectada a una bomba centrífuga ,si solo fuera hecho por acción de la gravedad el biodiesel no tendría la suficiente fuerza para pasar de manera

¹¹ From the Fryer to the fuel Tank Joshua Tickell
Chapter 6 How to make Biodiesel –Lye or KOH
Page 62

adecuada por el filtro de 5 micrones. La bomba instalada en el sistema tiene las siguientes características:

Bomba periférica de 1 fase
Modelo PL50H
Marca: Bonasa
L/min: 5/35
Kw 0.37 Hp 0.5
Arranque 0.49kW
V 127 a 60Hz

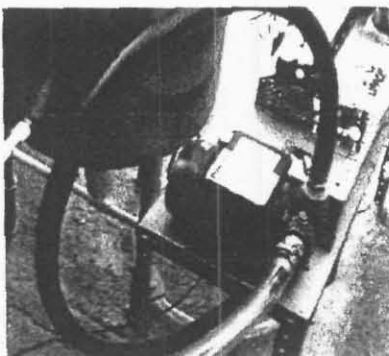


Figura 4.19 Bomba Periférica

El accionamiento de la bomba se controla por medio de un switch instalado en el gabinete del riel, conectado a la red eléctrica de 120 V protegida por un centro de carga



Figura 4.20 Interruptor para activar Bomba

El filtro que se utiliza es tipo cartucho de 5 micrones y permite obtener un producto libre de impurezas; fue elegido con base a las recomendaciones en distribuidores especializados en el proceso de filtrado de Biodiesel¹²

¹² Biodiesel filters

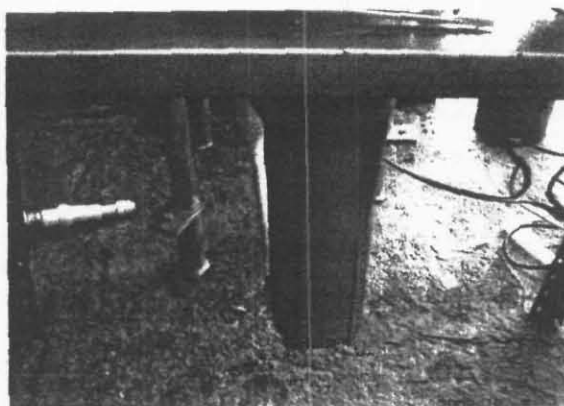


Figura 4.21 Filtro de 5 micrones

Para colocar la bomba, el gabinete del riel, el filtro y la fuente que alimenta los circuitos electrónicos se instala una mesa de trabajo frente al tanque

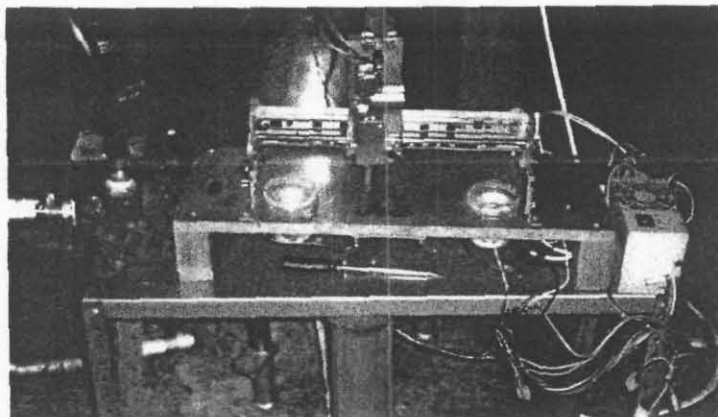


Figura 4.22 Mesa de trabajo

4.5 Acondicionamiento de la Señal Emitida por el Electrodo/Sensor de pH

El electrodo de pH emite diferentes valores de voltaje, dependiendo del valor de pH que se detecte. En la siguiente tabla se muestra la relación de voltaje de salida con respecto a diferentes valores de pH obtenidas en el electrodo usado:

Tabla 4.1 Relación valor de pH-voltaje emitido por el electrodo de pH

Valores de pH	Prueba 1 (mV)	Prueba 2 (mV)	Prueba 3 (mV)	Media (mV)
2	-253	-250	-249	-250
3	-211	-208	-205	-208
4	-133	-133	-135	-134
5	-83	-80	-79	-81
6	-42	-40	-41	-41
7	43	46	45	45
8	92	91	91	91
9	157	158	162	159
10	207	206	203	205

Como se observa, se hicieron diferentes pruebas para calcular el voltaje promedio en cada valor de pH y así tener un voltaje de referencia fijo, además de que el voltaje arrojado es tanto de valores positivos como de negativos, debido a estos, se diseñó un circuito con el que se generara únicamente valores positivos. Esto se logró por medio de un sumador, con ayuda de un amplificador operacional, el cual agrega 450mv al valor de salida del electrodo. Como se explicó en el capítulo anterior, un amplificador operacional se puede configurar de diferentes maneras dependiendo de la aplicación. Aprovechando esta diversidad del amplificador, este se utilizó para amplificar el valor de la suma obtenida 5 veces y así obtener voltajes desde 0 a 5 Volts en la entrada del Microcontrolador.

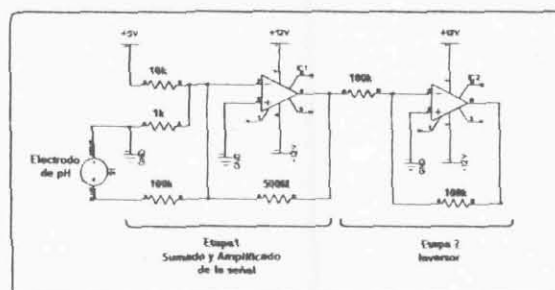


Figura 4.23 Circuito acondicionador de la señal del electrodo de pH
Elaboración Propia

El objetivo de lo explicado anteriormente es el de acondicionar la señal de salida del electrodo para que el Microcontrolador, referenciado a 5v, la pueda procesar en el convertidor analógico-digital.

En la Figura anterior se muestra una segunda etapa llamada "*inversor*", ya que debido a la configuración utilizada en la etapa de "*sumado y amplificado de la señal*", la salida en esta se encuentra invertida, es decir con voltajes negativos, por lo tanto el "*inversor*" se encarga de que los valores en la salida sean nuevamente positivos y el Microcontrolador pueda activar de forma correcta los actuadores.

4.6 Pruebas Experimentales

Se realizaron 3 pruebas de campo completas, pero dentro de este capítulo se describe aquella, cuyas muestras han sido examinadas por pruebas de calidad y caracterización mas específicas.

Para llevar a cabo las pruebas de campo se acordó no utilizar el tanque en su total capacidad, solamente se utilizaron 100 litros de aceite vegetal, lo conlleva el uso de 20 litros de metanol y 1 kilogramo de sosa caustica aunque de esta última no se utilizara dicha cantidad sino aproximadamente de 500 a 750 gramos de acuerdo a la valoración del aceite.

El aceite a utilizar es de un solo proveedor lo que facilita su valoración, y debe resaltarse que con anterioridad al inicio del proceso este fue limpiado extrayendo todos los residuos sólidos de mayor tamaño mediante el uso de un fino paño.

Teniendo listo el aceite se prosigue con la preparación de las soluciones para la valoración:

La primera consiste en mezclar un miligramo de sosa caustica en un litro de agua destilada

La segunda consiste en disolver por cada diez mililitros de alcohol isopropílico un mililitro del aceite que se va a utilizar en la producción.

Se colocan las dos soluciones dentro de los contenedores provistos en la mesa donde se encuentra el riel con los actuadores, a continuación, teniendo en cuenta los peligros que conlleva el uso de metanol, es decir con el uso de bata, guantes y lentes de seguridad, se vierte el metanol dentro del tanque principal.

Como segundo paso y con la certeza de que los circuitos eléctricos funcione correctamente, se inicia la valoración del aceite, se agregaron 3 ml de sosa y agua destilada en el aceite antes de que alcanzara un valor superior a 8 lo que indica según la ecuación anteriormente mostrada que debemos agregar 6.5 gr de sosa caustica por cada litro de aceite es decir 650 gramos lo cual ocurre de manera adecuada gracias a la apertura de la compuerta provista en el contenedor de catalizador, inmediatamente después se acciono el aspa mezcladora y permaneció de esta forma por 14 minutos y 53 segundos,

Una vez detenida en su totalidad el aspa, se agrega el aceite vegetal usado teniendo como medida de prevención que el aspa no se volverá a activar hasta que el interruptor situado en la mesa del riel sea presionado nuevamente.

Después de haber cerrado el tanque y haber oprimido el interruptor el aspa estuvo activa por 60 minutos, durante este tiempo se incremento un poco la temperatura del tanque principal pero en ningún momento de una forma exagerada.

Al finalizar el periodo de mezcla abre la válvula del tubo de control y se observo una mezcla uniforme de color menos intenso que el marrón y de apariencia viscosa, a partir de ese momento comenzó una importante separación la cual fue muy notoria durante las siguientes dos horas.

De acuerdo a las fuentes consultadas el tiempo para completar la reacción (Transesterificación) es de 8 horas cumplido este periodo de tiempo se observo una separación total en donde se ve asentado totalmente asentado lo que asumimos es

glicerina y flotando sobre él un líquido de color ámbar, lo que nos indica el éxito del proceso.

Como se explico anteriormente el tanque cuenta con 2 salidas una en el fondo y otro en la pared, para no contaminar el biodiesel flotante y con la ayuda de válvulas y el tubo de control se dreno de manera cuidadosa la glicerina y una vez hecho se abrió la válvula colocada en la salida situada en la pared y accionando la bomba se hace pasar el producto final por el filtro de 5 micrones para su posterior almacenaje en porrones de 20 litros.

4.7 Pruebas de Calidad

Las fuentes base de este trabajo postulan como pruebas de calidad de primera instancia por su economía y fácil realización, sin demeritar su credibilidad para conocer el éxito de nuestro proceso:

- Inspección Visual
- Punto de Enturbiamiento
- Punto de Congelación

Inspección Visual

Al finalizar cada una de las pruebas se hizo muy evidente la separación de dos componentes uno color marrón y otro en el rango de dorado hasta ámbar, siendo el primero un porcentaje aproximado del 10 al 20% del total de la mezcla e identificado como glicerina, y el segundo mucho más ligero que el aceite usado siendo Biodiesel

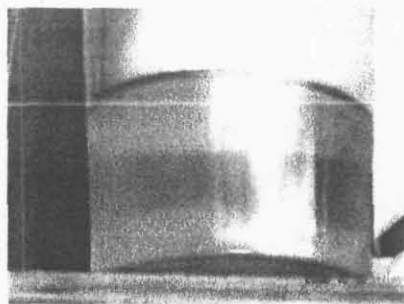


Figura 4.24 Biodiesel Obtenido

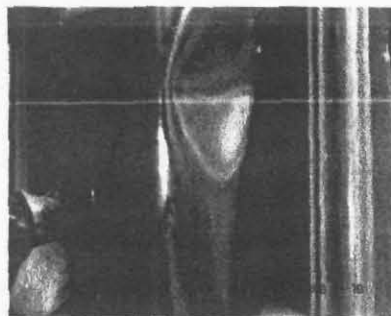


Figura 4.25 Glicerina Obtenida

Punto de Enturbiamiento

Tabla 4.2 Punto de enturbiamiento

Prueba	Punto de Enturbiamiento °C
Prueba No. 1	0.7 °C
Prueba No. 2	0.0 °C
Prueba No. 3	0.5 °C

Estos resultados fueron obtenidos por medio del sensor de temperatura integrado en el medidor de pH modelo AZ 8601 y de acuerdo a los estándares de la NBB (National Biodiesel Board) este debe ser de 0°C cuando se examina el Biodiesel al 100%, cuando este es mezclado con diesel normal, este punto debe disminuir.

Punto Gelatinización

Tabla 4.3 Punto de Gelatinización

Prueba	Punto de Gelatinización °C
Prueba No. 1	-6.7 °C
Prueba No. 2	-6.7 °C
Prueba No. 3	-6.5 °C

De igual manera esta estos valores se encuentran dentro de los estándares dictados.

Caracterización de las Muestras

Para verificar con mayor certeza el éxito del proceso, dos muestras, una del aceite sin procesar y otra del producto final, fueron enviadas para su análisis al Instituto Mexicano del Petróleo, específicamente al laboratorio de análisis físicos, los análisis realizados fueron los siguientes:

Índice de Cetano

El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.

El índice de cetano es la medida de la calidad de ignición y capacidad antidetonante del Diesel y es indicativo del grado de eficiencia de la combustión de este energético en el motor, de forma tal que se produzca la máxima cantidad de energía aprovechable.¹³

Típicamente los motores diesel se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.¹⁴

Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos combustibles con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después se queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión.

Gravedad API

Del inglés *American Petroleum Institute*, es una medida de densidad que describe que tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en esta. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo. Por ejemplo, si una fracción de petróleo flota en otra, significa que es más liviana, y por lo tanto su gravedad API es mayor. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades. Sin embargo siempre al número se le coloca la denominación grado API.

¹³ <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catid=23&contentID=68>

¹⁴ <http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>

Destilación Atmosférica

Uno de los parámetros que miden que tan volátil es una combustible es su destilación, esta consiste en colocar un volumen preestablecido de producto, aplicarle calor (por medio de una resistencia eléctrica o mechero), los vapores generados se condensan y el condensado obtenido se mide y registra la temperatura a la cual se alcanzó cada volumen condensado. Para lograr tal objetivo, se registra la temperatura a la que cae la primera gota del producto, la alcanzada para recolectar el 10% del volumen, la del 50%, la del 90%, así como cuando deja de obtenerse destilado. Otra variable adicional medida es el volumen de producto que no se destiló y se conoce como residuo de la destilación.

Esta curva de puntos de ebullición versus volúmenes destilados se conoce dentro de la industria del petróleo como la curva de punto de ebullición

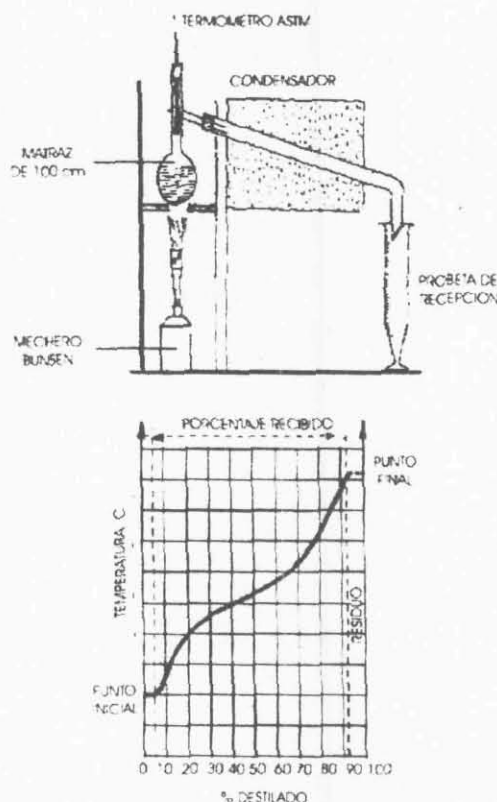


Figura 4.26 Aparato para realizar la destilación del petróleo y curva generada.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA DE PROCESOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICOS
CLAVE 60510



INFORME DE RESULTADOS		
CLAVE: AF-2432-2433	FECHA: 2008/10/27	HOJA 1 DE 2
DATOS DEL SOLICITANTE		
SOLICITANTE: MARCO ANTONIO RAMÍREZ GARNICA		
PROYECTO: D.00429.02.002		
UBICACIÓN: INVESTIGACIÓN Y POSGRADO		TEL: 8532

MUESTRA 1 : BD-1			
PRUEBA	METODO	UNIDADES	RESULTADOS
INDICE DE CETANO	ASTM-D-976-06	---	---
GRAVEDAD API	ASTM-D-287-05	°API	20,54
DESTILACION ATMOSFERICA	ASTM D-86-07a	%Vol	°C**
		TIE	172,1
		5	279,3
		10	494,6
		20	303,8
		30	315,0
		40	---
		50	---
		60	---
		70	---
		80	---
		90	---
		95	---
		TFE	317,0
		DES. TOT.	35,0
		RESIDUO	64,0
		PERDIDA	1,0

Este informe no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización por escrito del laboratorio.
Este informe solo afecta a las muestras reportadas y sometidas a prueba.
El laboratorio está en la mejor disposición de recibir comentarios o sugerencias del servicio proporcionado.

PROCESO PS-LA PROPORCIONAR
SOLUCIONES DE LABORATORIO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
Eje Central Lázaro Cárdenas No. 152
Col. San Bartolo Aliphan
MEXICO D.F. C.P. 07730
PS-LA-F1s Rev. 5 PS-LA-04-01-01

Figura 4.27 Análisis muestra aceite sin procesar
Laboratorio de Análisis Físicos del Instituto Mexicano de Petróleo



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA DE PROCESOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICOS
CLAVE 60510



INFORME DE RESULTADOS

CLAVE: AF-2432-2433

FECHA: 2008/10/27

HOJA 2 DE 2

MUESTRA 1 : BD-2

PRUEBA	METODO	UNIDADES	RESULTADOS
INDICE DE CETANO	ASTM-D-976-06	---	44,30
GRAVEDAD API	ASTM-D-287-05	°API	27,65
DESTILACION ATMOSFERICA	ASTM D-86-07a	%Vol	°C**
		TIE	129,3
		5	322,2
		10	326,3
		20	327,3
		30	329,4
		40	330,4
		50	330,4
		60	330,4
		70	330,4
		80	332,4
		90	---
		95	---
		TFE	335,5
		DES. TOT.	85,0
		RESIDUO	14,0
		PERDIDA	1,0

OBSERVACIONES: * No se puede llevar a cabo el calculo del Indice de Cetano, ya que la muestra no llega al 50% de la destilación, fuera de método.** Destilación fuera de método la muestra tiene agua emulsionada, la cuál se tuvo que eliminar y después de 2 hrs empezó a realizar la destilación. La muestra se crackea y se observan gotas en el destilado de color azul, producto de la descomposición térmica y una gran cantidad de vapores blancos.

DOCUMENTOS QUE SE ANEXAN: N.A.

REALIZO LA PRUEBA:	EJECUTIVO DEL LABORATORIO
MSG/FVS.	ING. JAVIER RODRIGUEZ SALAZAR

Este informe no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización por escrito del laboratorio.
Este informe solo afecta a las muestras reportadas y sometidas a prueba.
El laboratorio está en la mayor disposición de recibir comentarios o sugerencias del servicio proporcionado.

PROCESO PS-LA PROPORCIONAR
SOLUCIONES DE LABORATORIO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
Eje Central Lázaro Cárdenas No. 152
Col San Bartolo Atahuepalcán,
MEXICO D.F. C.P. 07730
PS-LA F16 Rev. 5 PS-LA 04 01 01

Figura 4.28 Análisis muestra producto final

Laboratorio de Análisis Físicos del Instituto Mexicano de Petróleo

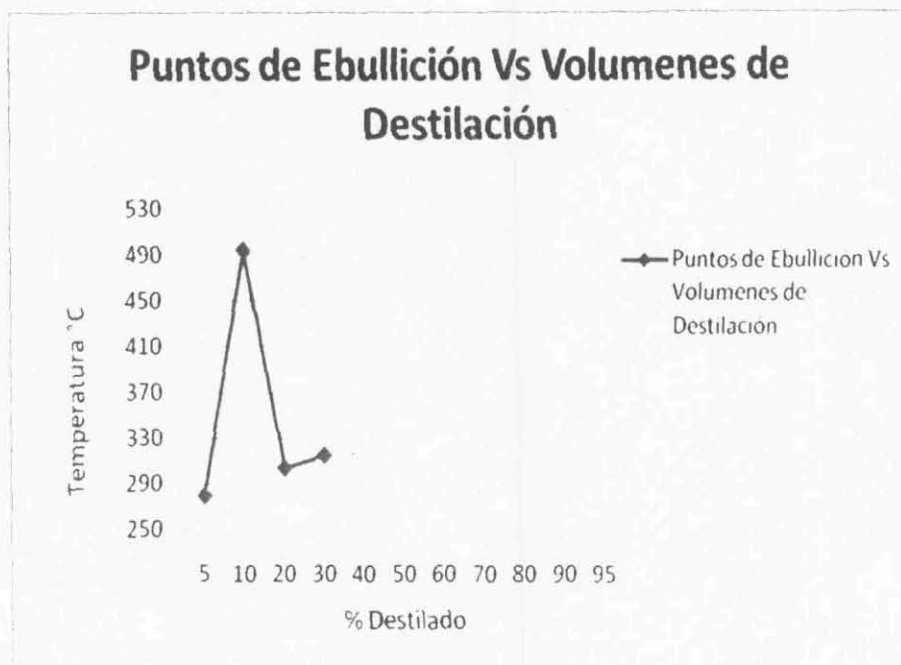


Figura 4.29 Curva de Punto de Ebullición muestra aceite sin procesar
Elaboracion Propia

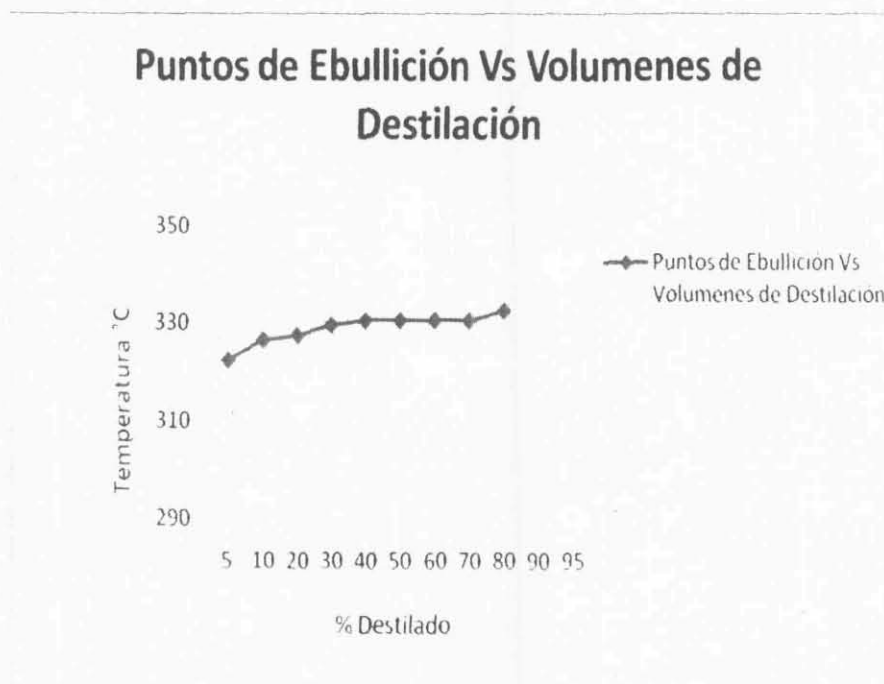


Figura 4.30 Curva de Punto de Ebullición muestra producto final
Elaboracion Propia

Tabla 5.4 Especificaciones Diesel convencional

DESTILACION ASTM D-86	
TIE/10 %VOL	189/235
30/50 %VOL	283/307
70/90 %VOL	324/347
TFE	367
%VOL. REC.	98



Figura 4.31 Curva de Punto de Ebullición muestra Diesel convencional
Elaboración Propia

La figura 4.27 indica que en esa muestra no se puede llevar a cabo el cálculo del Índice de Cetano lo cual se esperaba pues la muestra es únicamente aceite sin procesar, sin embargo este mismo dato en la figura 4.28 tiene un valor de 44,30 el cual se encuentra dentro del rango propio del combustible Diesel, existe a su vez una diferencia importante en los °API entre una y otra muestra lo que indica que el producto final es menos viscoso que el aceite sin procesar, los estándares para el

Biodiesel indican que su gravedad API debe estar en el rango 26 a 27 °API ¹⁵ lo cual se cumple de manera real.

En las dos muestras se encontró agua emulsionada, la cual se tuvo que eliminar para poder llevar a cabo la destilación atmosférica, en la primera muestra esta pudo realizarse de manera muy limitada y los puntos de ebullición están muy separados y son demasiado altos incluso cerca de los 500°C y hay un residuo del 64% que es la mayor parte de la muestra, esta misma prueba al ser realizada en el producto final arroja un residuo únicamente del 14% y genera una curva de punto de Ebullición mucho más parecida a la generada por una muestra de Diesel convencional así como los Puntos de Ebullición Inicial y Final (TIE, TFE).

¹⁵ From the Fryer to the Fuel Tank Josh Tickell Page 73 y
http://www.widman.biz/Seleccion/Viscosidad/Grados_API/grados_api.html

Conclusiones y Trabajo a Futuro

El objetivo general de este trabajo fue alcanzado en un 80% ya que se logro la producción del Biocombustible conocido como Biodiesel , pero la automatización del proceso no se completo debido a que al etapa de drenado de la glicerina se realiza de forma manual.

Nuestros objetivos particulares fueron alcanzados en un 100% y se presenta como principal aportación la automatización del proceso de valoración de aceite, el cual es por sí mismo una innovación en el proceso de producción de Biodiesel a escala pequeña.

Así mismo la este trabajo escrito es una fuente de información confiable para futuros proyectos,

En el desarrollo de este trabajo se promueve la prolongación de este; marcando como primer punto un proceso para la eliminación del agua en el producto final, así mismo y de acuerdo a los resultados de la caracterización es necesario mejorar la calidad del producto ,para lo cual es imprescindible formar un equipo multidisciplinario en el cual un experto en Ingeniería Química pueda dictar parámetros tales como la relación Aceite-Metanol-Catalizador, la calidad de mezclado, el monitoreo durante los diferentes puntos del proceso, con el propósito de que el Ingeniero Mecatrónico mejore el sistema de control automático.

Referencias

From the Fryer to the Fuel Tank

The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel

Joshua Tickell

Veggie Van Productions

How to make biodiesel

Dan Carter, Dave Darby, Jon Hallé, Phillip Hunt

LILI

Biodiesel: Growing a New Energy Economy, Second Edition

Greg Pahl & Bill Mckibben

Biodiesel Basics and Beyond

A Comprehensive Guide to Production and Use for the Home and Farm

William H. Kemp

Journey to Forever: Handmade projects

<http://journeytoforever.org/es/biocombustibles.html>

Biodiesel America

<http://thefuelfilm.com/>

Biodiesel

http://sepiensa.org.mx/contenidos/2006/biodiesel/biodiesel_1.htm

Instituto Mexicano de Petróleo: El Petróleo

<http://www.imp.mx/petroleo/>

MSN Encarta

<http://es.encarta.msn.com/encnet/refpages/search.aspx?q=combustible+fossil>

Wiki pedía, la enciclopedia libre: Gasolina

<http://es.wikipedia.org/wiki/Bencina>

Wiki pedía, la enciclopedia libre: Biocombustibles

<http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>

PEMEX. Refinación Pemex Diesel

<http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catid=23&contentID=68>

Calidad del diesel en México - Alianza Flotillera

http://www.alianzaflotillera.com/articulos.php?id_sec=16&id_art=538

El diesel

<http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>

Wiki pedía, la enciclopedia libre: Relé

<http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>

Tutorial sobre Motores Paso a Paso

<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Introducción al Control Automático

<http://www.esid.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=I&codigo=S25&fichero=1099409180IS25>

Motor de corriente Alterna

[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor de corriente alterna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna)

Motor de corriente continúa

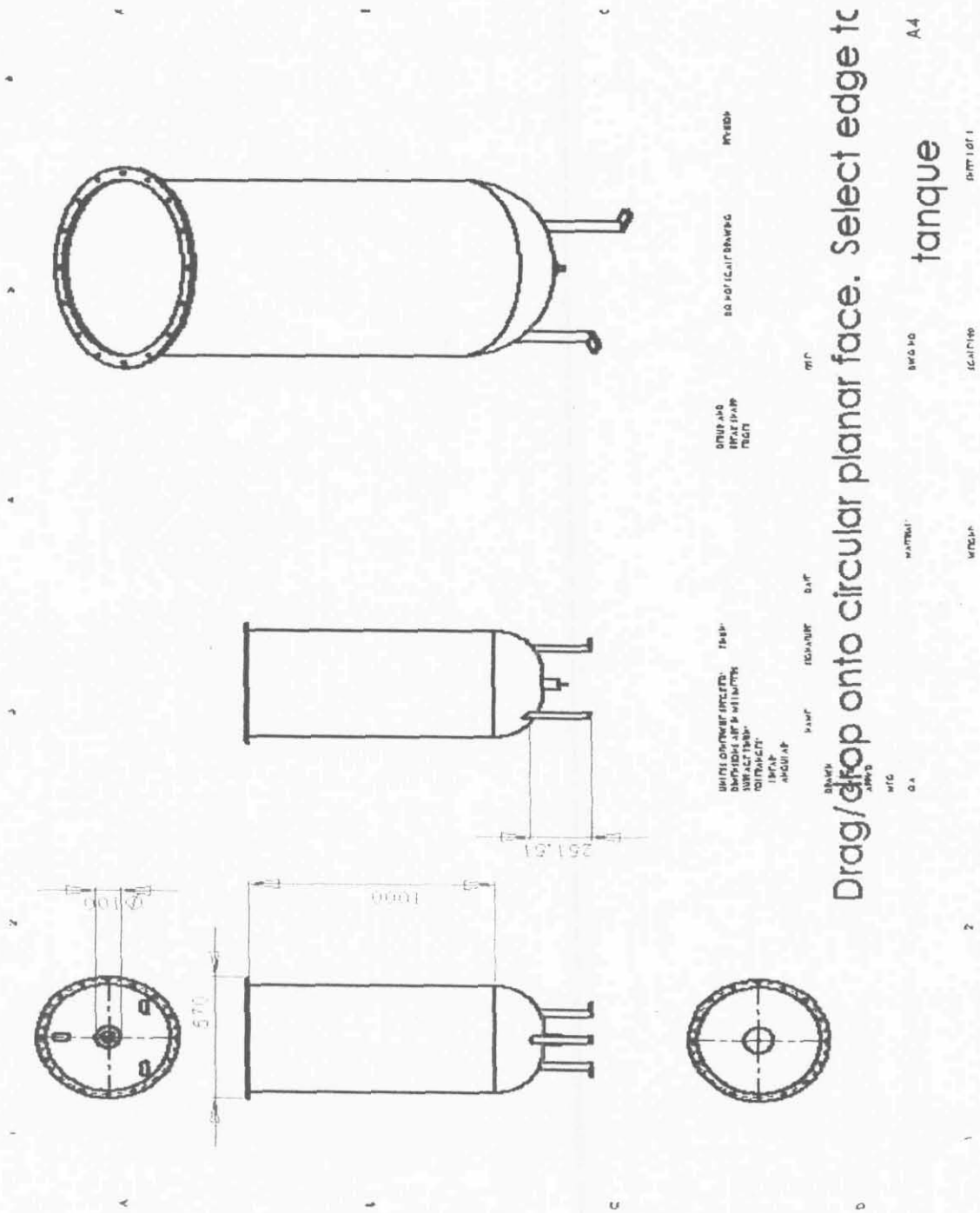
[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor de corriente continua](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua)

Introducción al Microcontrolador

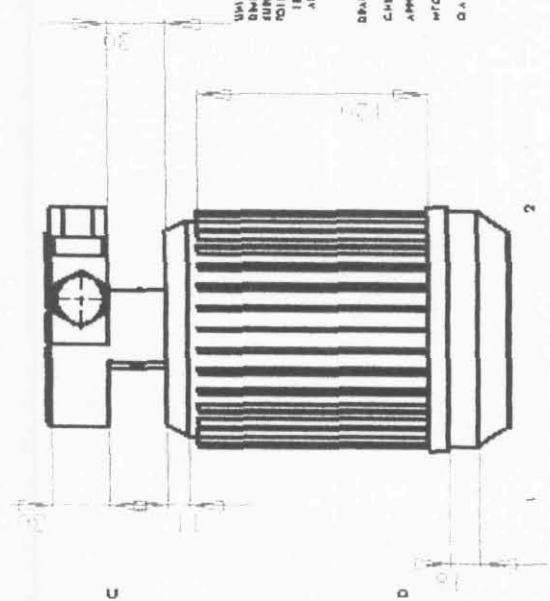
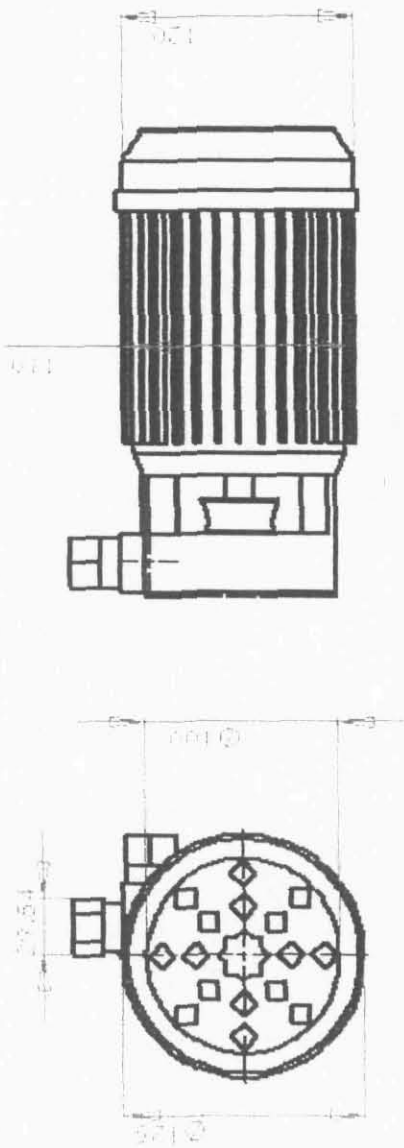
<http://usuarios.lycos.es/sfriswolker/pic/uno.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

Apéndice A Planos y Dibujos Técnicos del Prototipo Generados en Solidworks



1 2 3 4



1 2 3 4

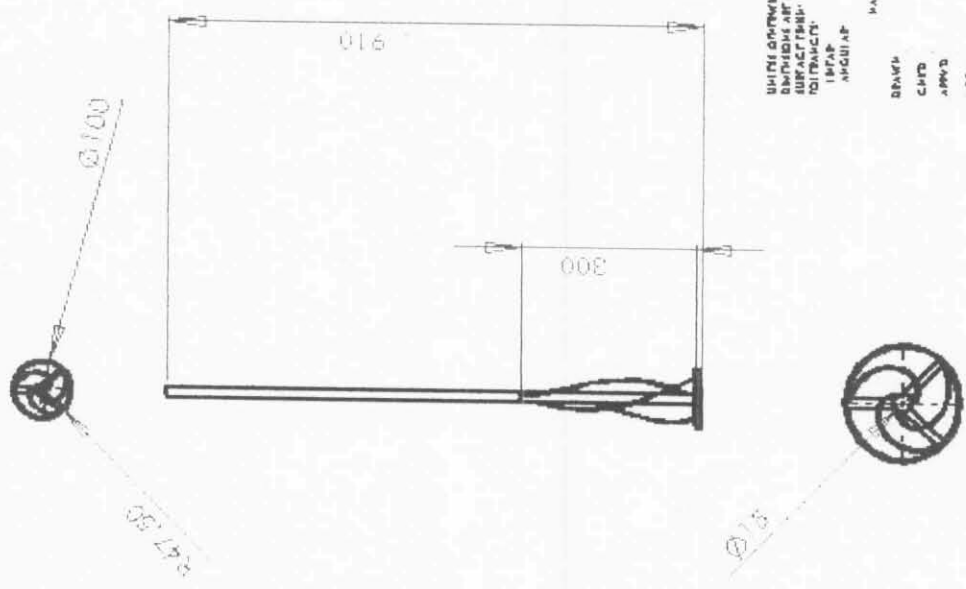
UNITAS COMPANY INCORPORATED
 1800 WEST 10TH AVENUE
 DENVER, COLORADO 80202
 (303) 733-1111

UNITAS COMPANY INCORPORATED
 1800 WEST 10TH AVENUE
 DENVER, COLORADO 80202
 (303) 733-1111

A4

bomba

SWT 100 1



UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

UNITED COMPANY LIMITED
 ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
 ПОДПИСАНИЕ

mezcladora

A4

UNITED COMPANY LIMITED

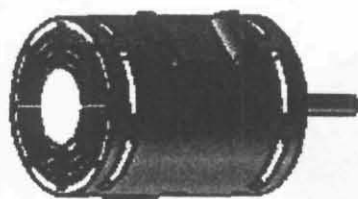
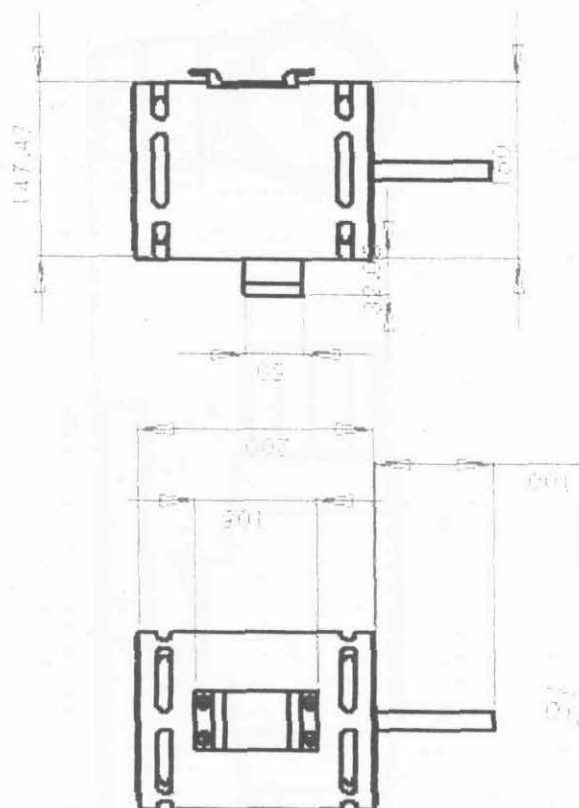
UNITED COMPANY LIMITED

UNITED COMPANY LIMITED

2

MOTOR

1000



THE

[illegible]

APPENDIX

23

04 JAN 0

412175

2021

www.elsevier.com/locate/jmb

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

המחלקה לבריאות הציבור, משרד הבריאות, תל אביב.

• 1999

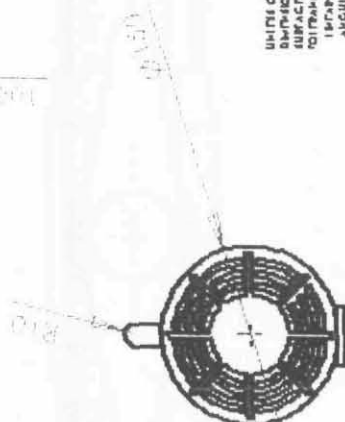
DATA

2021

www.elsevier.com/locate/jmb

NAME

Q



Apéndice B: Diagrama Esquemático del Circuito

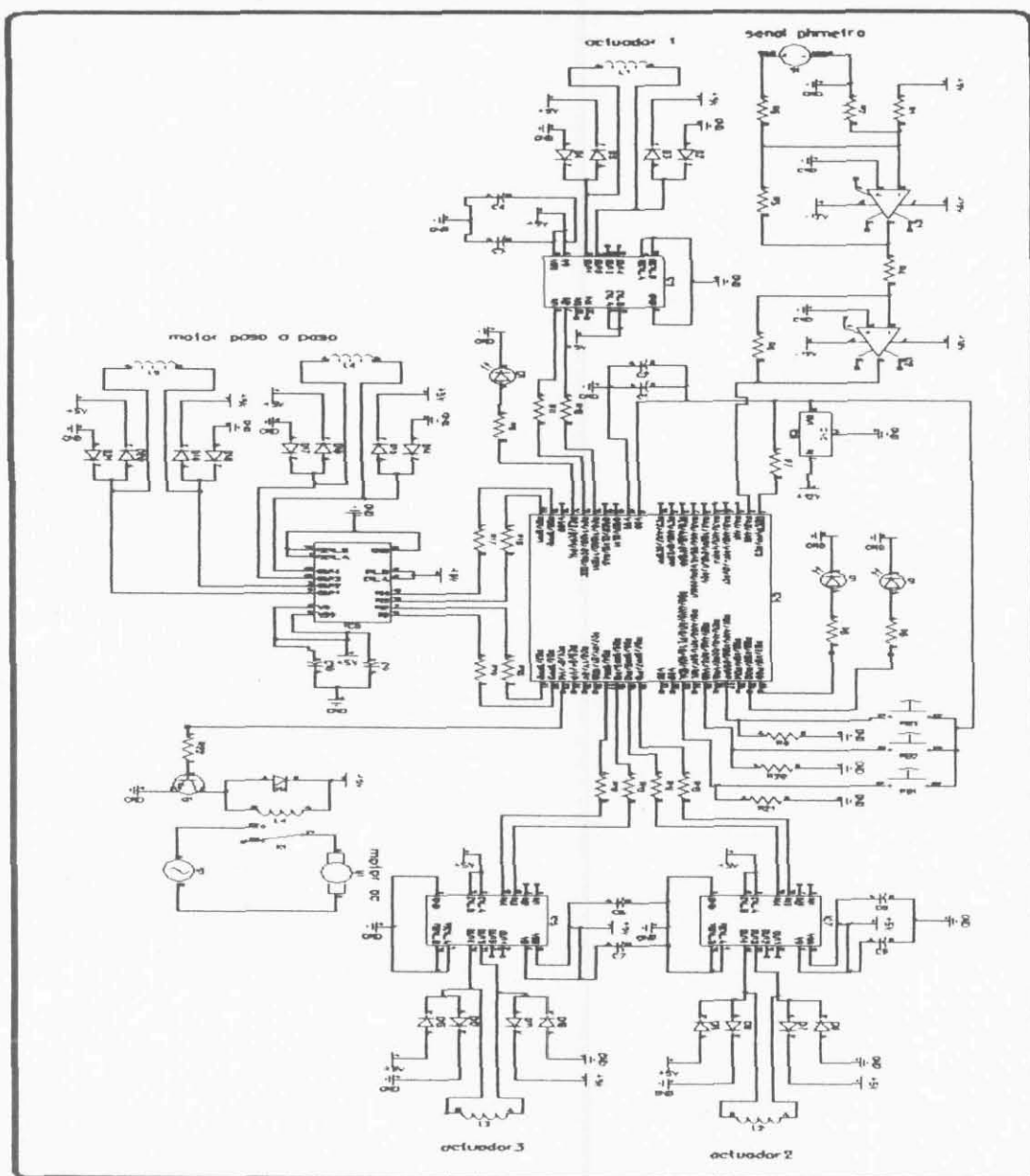


FIGURA B.1 Diagrama Esquemático del sistema automatizado de producción de Biodiesel

Apéndice C: Circuitos Impresos del Prototipo

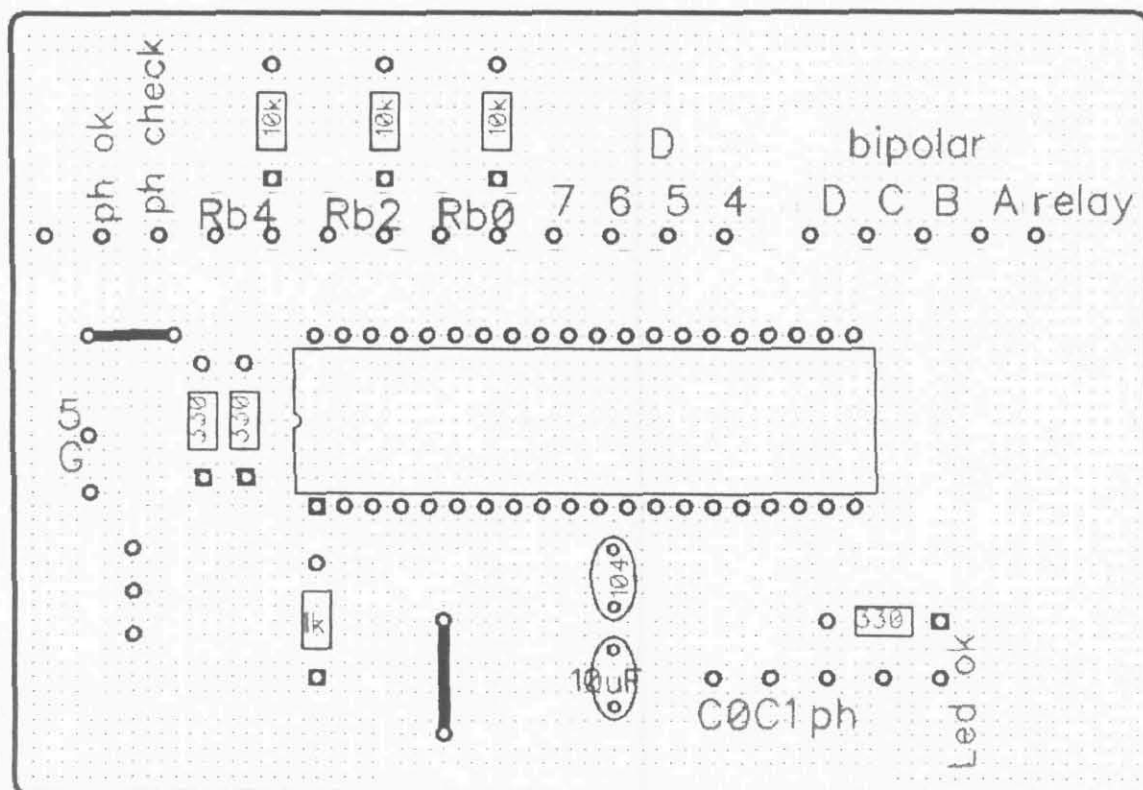


FIGURA C.1 Vista Superior de la placa del Microcontrolador

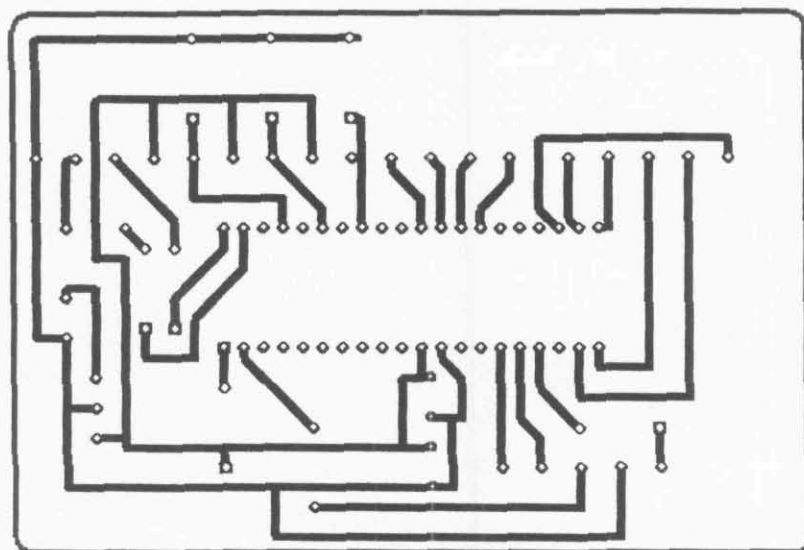


FIGURA C.2 Circuito impreso de la placa del Microcontrolador

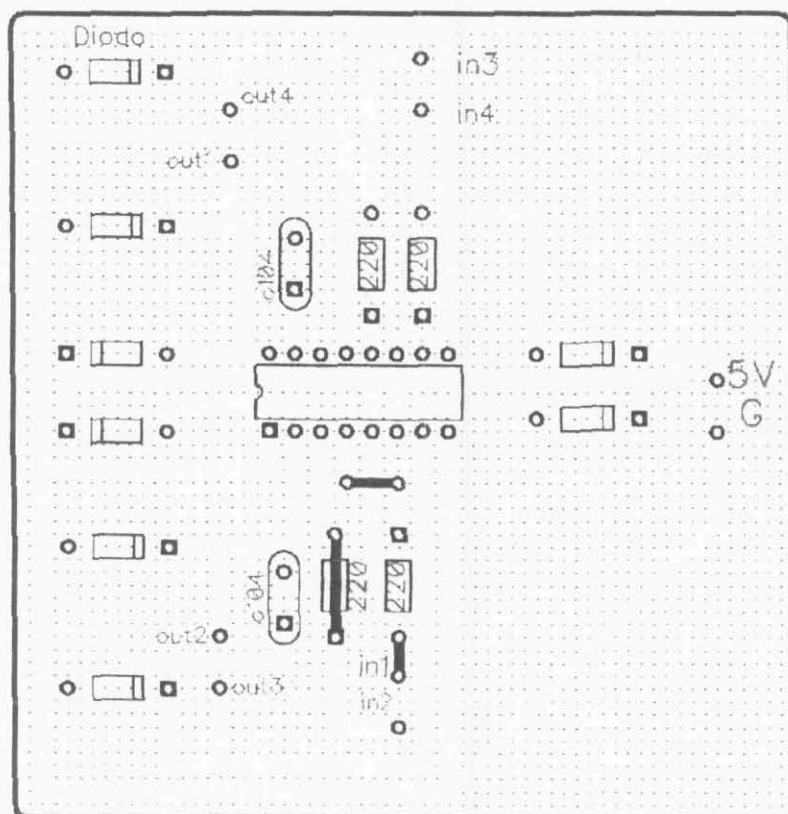


FIGURA C.3 Vista superior de la placa del puente H

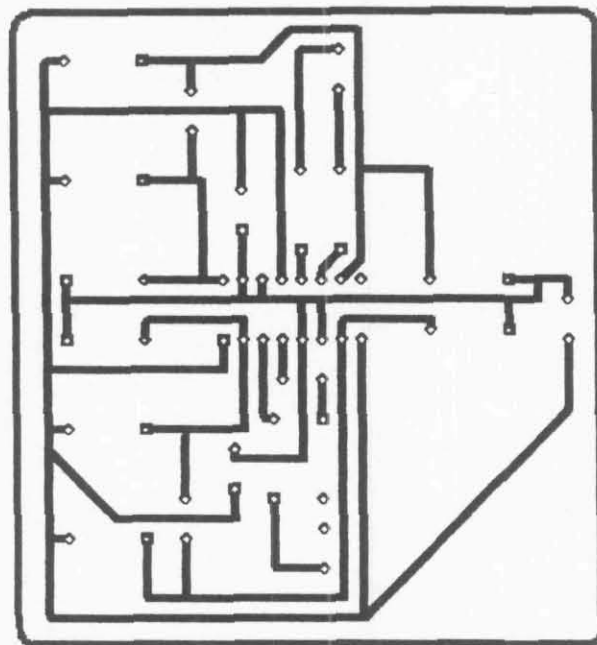


FIGURA C.4 Circuito impreso de la placa del puente H

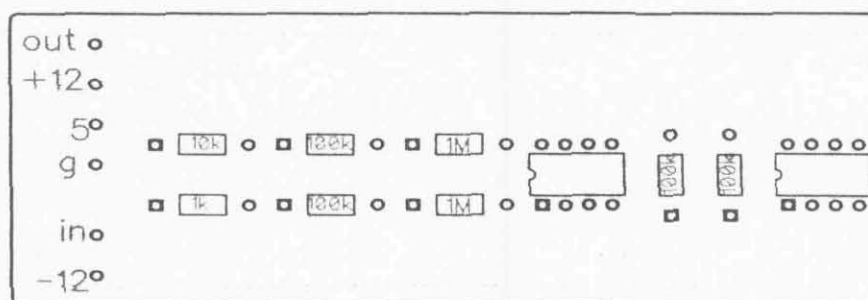


FIGURA C.5 Vista superior de la placa del acondicionamiento de la señal de pH

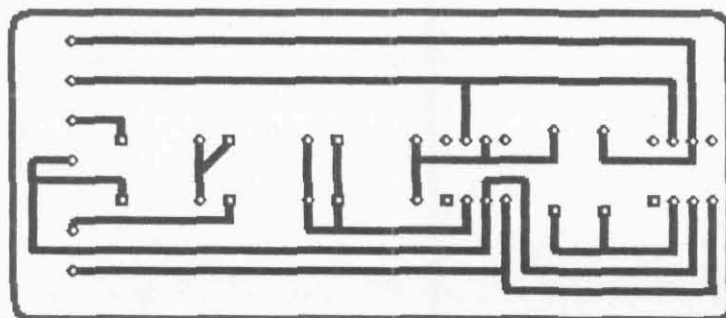


FIGURA C.6 Circuito impreso de la placa del acondicionamiento de la señal de pH

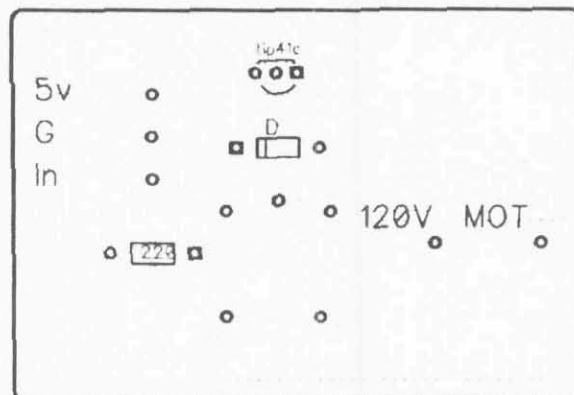


FIGURA C.7 Vista superior de la placa de accionamiento del motor AC

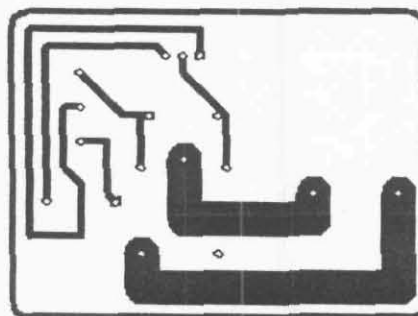


FIGURA C.8 Circuito impreso de la placa de accionamiento del motor AC

Apéndice D: Programa del Microcontrolador

LIST p=18F4550

PORTA	EQU H'0F80'
PORTB	EQU H'0F81'
PORTC	EQU H'0F82'
PORTD	EQU H'0F83'
PORTE	EQU H'0F84'
LATA	EQU H'0F89'
LATB	EQU H'0F8A'
LATC	EQU H'0F8B'
LATD	EQU H'0F8C'
LATE	EQU H'0F8D'
DDRA	EQU H'0F92'
TRISA	EQU H'0F92'
DDRB	EQU H'0F93'
TRISB	EQU H'0F93'
DDRC	EQU H'0F94'
TRISC	EQU H'0F94'
DDRD	EQU H'0F95'
TRISD	EQU H'0F95'
DDRE	EQU H'0F96'
TRISE	EQU H'0F96'
OSCTUNE	EQU H'0F9B'
ADCON2	EQU H'0FC0'
ADCON1	EQU H'0FC1'
ADCON0	EQU H'0FC2'

ADRES	EQU H'0FC3'
ADRESL	EQU H'0FC3'
ADRESH	EQU H'0FC4'
SSPCON2	EQU H'0FC5'
SSPCON1	EQU H'0FC6'
SSPSTAT	EQU H'0FC7'
SSPADD	EQU H'0FC8'
SSPBUF	EQU H'0FC9'
OSCCON	EQU H'0FD3'
STATUS	EQU H'0FD8'

CONTADOR1	EQU 0X0
CONTADOR2	EQU 0X1
CONTADOR3	EQU 0X2
CONTADOR4	EQU 0X4
CONTADORS	EQU 0X5

ORG	0
BRA	0X20

ORG	0X20
MOVLW	B'01101110'
MOVWF	OSCCON,0
MOVLW	B'00111111'
MOVWF	TRISB,0
MOVLW	B'10000000'
MOVWF	TRISC,0
CLRF	TRISD,0

MOVLW	0X1
MOVWF	ADCON0,0
MOVLW	0XE
MOVWF	ADCON1,0
MOVLW	0X29
MOVWF	ADCON2,0
CLRF	PORTD,0
CLRF	PORTC,0
CLRF	CONTADORS,0

HOME	BCF	PORTC,0
	BCF	PORTD,7
	BCF	PORTD,5
	CALL	RETARDO
	BSF	PORTD,6
	BSF	PORTD,4
	BSF	PORTC,1
	CALL	RETARDO2
	BCF	PORTD,4
	BCF	PORTD,6
HO0	BCF	PORTB,6
	NOP	
	BTFSS	PORTB,4
	BRA	HO0
	BRA	IN0

IN0	BCF	PORTD,0
	BCF	PORTD,2
	BSF	PORTD,1
	BSF	PORTD,3

CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,2
BRA	IN2
BCF	PORTD,1
BSF	PORTD,0
CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,2
BRA	IN2
BCF	PORTD,3
BSF	PORTD,2
CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,2
BRA	IN2
BCF	PORTD,0
BSF	PORTD,1
CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,2
BRA	IN2
BRA	IN0

IN1

BCF	PORTD,0
BCF	PORTD,3
BSF	PORTD,1
BSF	PORTD,2
CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,0
BRA	IN3
BCF	PORTD,1
BSF	PORTD,0
CALL	RETARDO
BTFSC	PORTB,0

BRA	IN3
BCF	PORTD,2
BSF	PORTD,3
CALL	RETARDO
BTFSB	PORTB,0
BRA	IN3
BCF	PORTD,0
BSF	PORTD,1
CALL	RETARDO
BTFSB	PORTB,0
BRA	IN3
BRA	IN1

IN2

BCF	PORTC,1
BCF	PORTD,4
CALL	RETARDO2
CALL	RETARDO2
BSF	PORTC,0
CALL	RETARDO2
CALL	RETARDO2
CALL	RETARDO2
BSF	PORTD,5
CALL	RETARDO2
CALL	RETARDO2
BCF	PORTC,0
BCF	PORTD,5
NOP	
BSF	PORTC,1
CALL	RETARDO2
BRA	IN1

IN3	BCF	PORTC,1
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	BSF	PORTC,0
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	BSF	PORTD,4
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	BCF	PORTC,0
	BCF	PORTD,4
	BSF	PORTB,6
	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO3
	INCF	CONTADORS,1

ADC	MOVLW	0X7D
ADC_3	BSF	ADCON0,1
	NOP	
ADC_0	BTFSC	ADCON0,1
	BRA	ADC_0
	CPFSGT	ADRESH,0
	BRA	HOME
	BSF	ADCON0,1
	NOP	
ADC_1	BTFSC	ADCON0,1
	BRA	ADC_1
	CPFSGT	ADRESH,0
	BRA	ADC_3
	BSF	ADCON0,1

	NOP	
ADC_2	BTFSC	ADCON0,1
	BRA	ADC_2
	CPFSGT	ADRESH,0
	BRA	ADC_3
	BCF	PORTB,6
	BSF	PORTB,7
MOTOR	BCF	PORTD,6
	CALL	RETARDO
	BSF	PORTD,7
	MO_0	MOVLW 0X1
	CPFSGT	CONTADORS,0
	BRA	RET_A
	MOVLW	0X2
	CPFSGT	CONTADORS,0
	BRA	RET_B
	MOVLW	0X3
	CPFSGT	CONTADORS,0
	BRA	RET_C
	BRA	RET_D
MO_1	BCF	PORTD,7
	CALL	RETARDO
	BSF	PORTD,6
	CALL	RETARDO3
	BCF	PORTD,6
	BCF	PORTD,5
	BCF	PORTD,7
	BCF	PORTD,4

	BCF	PORTC,0
	BCF	PORTC,1
	BSF	PORTC,6
	CALL	RETARDO4
	BCF	PORTC,6
	BCF	PORTB,7
MOTOR_0	BTFSC	PORTB,4
	BRA	MOTOR_0
	CALL	RETARDO
MOTOR_1	BTFSS	PORTB,4
	BRA	MOTOR_1
	BSF	PORTC,6
	CALL	RETARDO5
	BCF	PORTC,6
	BSF	PORTC,2
	BRA	FINISH
RET_A	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	BRA	MO_1
RET_B	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	BRA	MO_1
RET_C	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2
	CALL	RETARDO2

	CALL	RETARDO2
	BRA	MO_1
RET_D	CALL	RETARDO3
	CALL	RETARDO3
	BRA	MO_1
FINISH	NOP	
	NOP	
	BRA	FINISH
RETARDO	movlw	D'10'
	movwf	CONTADOR1
con1_1	movlw	D'10'
	movwf	CONTADOR2
con1_2	movlw	D'9'
	movwf	CONTADOR3
con1_3	decfsz	CONTADOR3
	BRA	con1_3
	decfsz	CONTADOR2
	BRA	con1_2
	decfsz	CONTADOR1
	BRA	con1_1
	RETURN	
RETARDO2	movlw	D'100'
	movwf	CONTADOR1
con2_1	movlw	D'50'
	movwf	CONTADOR2
con2_2	movlw	D'75'
	movwf	CONTADOR3
con2_3	decfsz	CONTADOR3

	BRA	con2_3
	decfsz	CONTADOR2
	BRA	con2_2
	decfsz	CONTADOR1
	BRA	con2_1
	RETURN	
RETARDO3	movlw	D'250'
	movwf	CONTADOR1
con3_1	movlw	D'147'
	movwf	CONTADOR2
con3_2	movlw	D'45'
	movwf	CONTADOR3
con3_3	decfsz	CONTADOR3
	BRA	con3_3
	decfsz	CONTADOR2
	BRA	con3_2
	decfsz	CONTADOR1
	BRA	con3_1
	RETURN	
RETARDO4	movlw	D'250'
	movwf	CONTADOR1
con4_1	movlw	D'150'
	movwf	CONTADOR2
con4_2	movlw	D'100'
	movwf	CONTADOR3
con4_3	movlw	D'79'
	movwf	CONTADOR4
con4_4	decfsz	CONTADOR4
	BRA	con4_4